

COMMITTENTE

PIRANI GROUP S.r.l.

LOCALITÀ

CARPI (MO)
Tangenziale Bruno Losi - Via Quattro Pilastrì

OGGETTO

**PIANO PARTICOLAREGGIATO IN VARIANTE
AL P.R.G. VIGENTE PER L'ATTUAZIONE DEL
COMPARTO DI TRASFORMAZIONE F14**TECNICO
INCARICATO**Cotefa.ingegneri&architetti***Sede legale, amministrativa, operativa*

25124 Brescia, via Cefalonia n. 70

tel. +39.030.220692 +39.030.2424177 fax +39.030.220655

Sede operativa

27100 Pavia, via Capsoni n. 27

tel. +39.0382.303999 fax +39.0382.1753916

e-mail cotefa@cotefa.com

ING. ANDREA CASARINO

REV.	DESCRIZIONE REVISIONE	REDAZ.	DATA	CONTR.	DATA	APPROV.	DATA
0	PRIMA STESURA	-	02/12/2021	M.L.	02/12/2021	M.L.	02/12/2021
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-

ELABORATO

R 10**RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA**

SCALA

-

DATA

02/12/2021

PROT.

20-04

ARCH.GEN.

48182

DOTT. ANNA VACCARI

GEOLOGO

Modena, Dicembre 2021

RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
Variante al P.R.G. per destinazione d'uso U2/2
Comparto Direzionale - Commerciale zona F - ambito F14



COMUNE DI CARPI – PROVINCIA DI MODENA
TANGENZIALE BRUNO LOSI – VIA QUATTRO PILASTRI

INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
1.2	INTERVENTI DI PROGETTO	3
1.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	3
1.3.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	4
1.3.2	INDAGINE SISMICA	5
1.4	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2	MODELLAZIONE DEL SITO	9
2.1	LINEAMENTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI	9
2.2	LINEAMENTI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI	9
2.3	LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	11
2.4	LINEAMENTI SISMOTETTONICI	12
3	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	16
3.1	VERIFICA ALLA SUSCETTIBILITÀ AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	19
4	PERICOLOSITÀ E AZIONE SISMICA DA NTC2018 ALLO STATO LIMITE SLV.....	23
4.1	PERICOLOSITÀ SISMICA DA NTC 2018.....	23
4.1.1	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (RIF. 3.2.2 NTC 2018)	23
4.1.2	VITA NOMINALE E CLASSI D'USO	24
4.2	CONDIZIONI DI SITO E CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	25
4.3	AZIONE SISMICA DA NTC 2018 SLV – APPROCCIO SEMPLIFICATO	27
5	CONCLUSIONI.....	32

ALLEGATO 1: Diagrammi penetrometrici

ALLEGATO 2: Suscettibilità alla liquefazione

ALLEGATO 3: Report indagine geofisica

1 PREMESSA

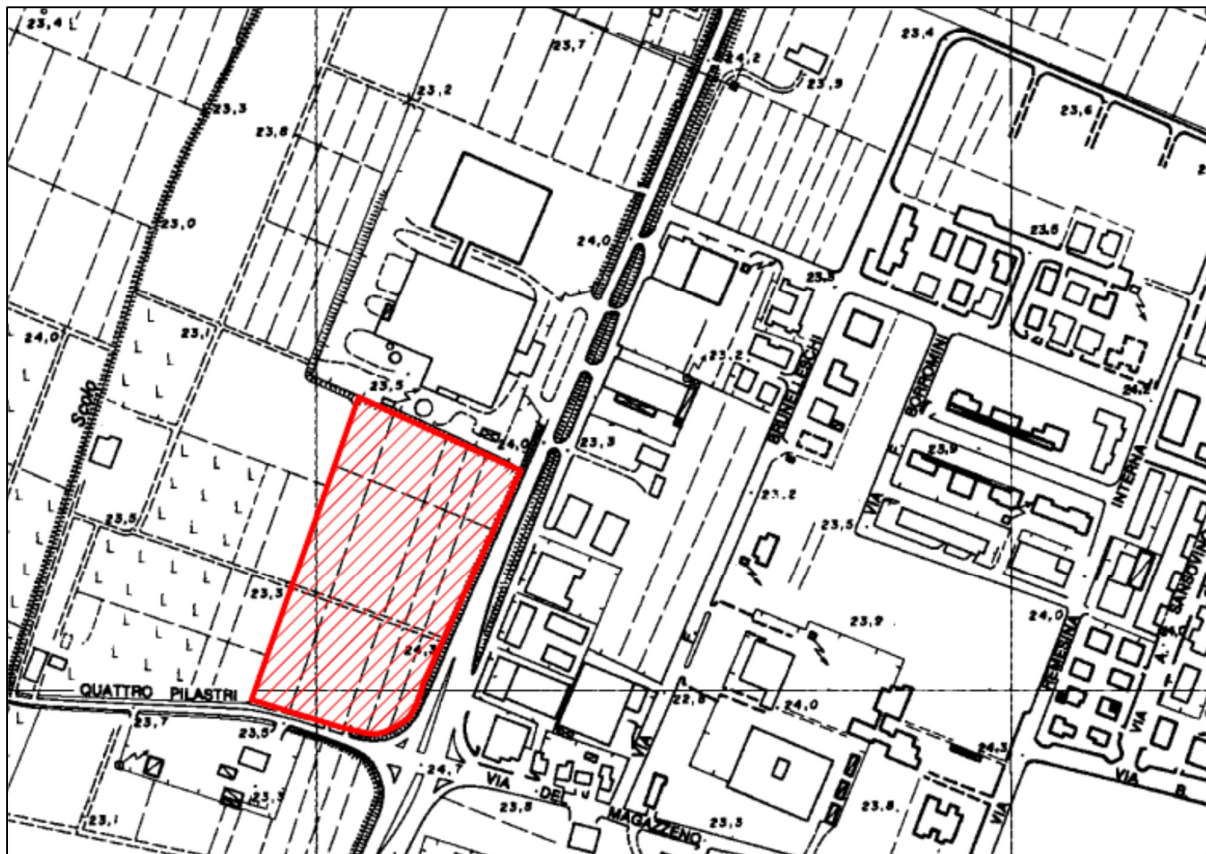
Su incarico di PIRANI GROUP S.r.l. e d'intesa con il Dott. Giorgio Mazzina (Direzione Sviluppo) si è provveduto alla stesura di una relazione geologico geotecnica e sismica di fattibilità (Variante al P.R.G. per destinazione d'uso U2/2 alimentare) a corredo del progetto di Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata inerente un'area a destinazione direzionale-commerciale di circa 27.200 mq sita a Carpi (Provincia di Modena) lungo la Tangenziale Bruno Losi (zona F-ambito F14), al fine di verificare le caratteristiche dei depositi presenti in relazione all' idoneità delle opere di progetto.

I terreni interessati dalle indagini individuano, in particolare, un lotto allungato in direzione NE-SO a forma regolare e giacitura pianeggiante; l'intera estensione del fronte Est prospetta sulla Strada Statale Romana Nord n. 413, che in quel tratto assume il rango di Tangenziale cittadina, mentre il fronte Sud si affaccia interamente su Via Quattro Pilastri che, incrociando la suddetta Tangenziale, consente l'accesso diretto all'area.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona d'interesse, catastalmente identificata al Foglio 75 del Comune di Carpi con il mappale 43, è rappresentata nella Cartografia Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna nella Tavola n. 183SE (scala 1:25.000) denominata "Novi di Modena", nella Sezione n. 183150 (scala 1: 10.000) e nell'Elemento n. 183152 (scala 1: 5.000) rispettivamente denominati "Budrione" e "Fossoli" (Fig. 1).

FIGURA 1: ESTRATTO ELEMENTO N. 183152

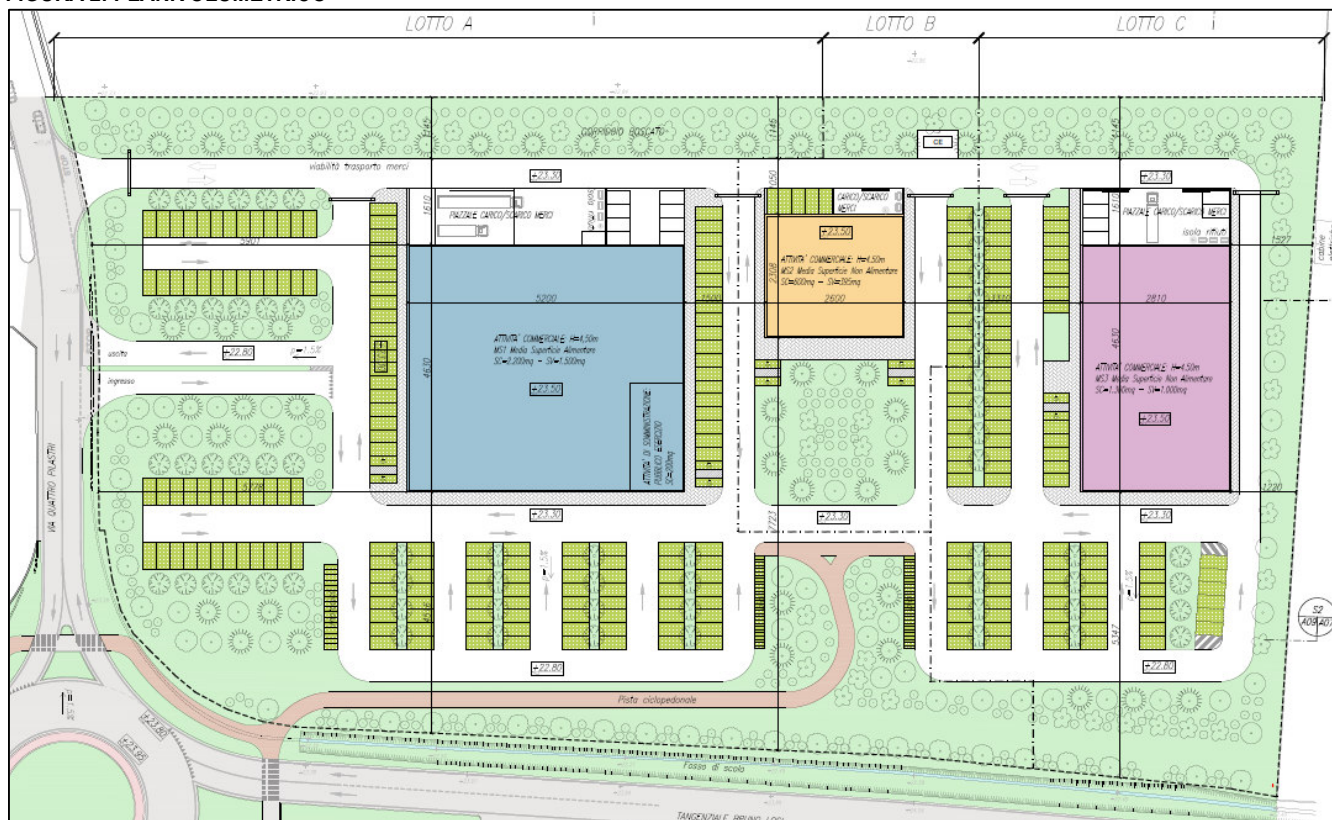


1.2 INTERVENTI DI PROGETTO

Oltre alla creazione delle opere di urbanizzazione primaria, la proposta progettuale da realizzarsi nel comparto F14 prevede la creazione di tre lotti di terreno denominati A-B-C (Fig. 2) che ospiteranno altrettanti edifici commerciali:

1. LOTTO A: realizzazione di struttura commerciale per attività di vendita alimentare (SC=2.400 mq; SC=2.200 mq - SV=1.500 mq; pubblico esercizio SC=200 mq) dotata di parcheggi pubblici e pertinenziali;
2. LOTTO B: realizzazione di struttura commerciale per attività di vendita non alimentare (SC=600 mq - SV=395 mq) dotata di parcheggi pertinenziali e pubblici;
3. LOTTO C: realizzazione di struttura commerciale per attività di vendita non alimentare (SC=1.300 mq - SV=1.000 mq) dotata di parcheggi pertinenziali e pubblici.

FIGURA 2: PLANIVOLUMETRICO



1.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Lo studio redatto ai sensi del D.M. 17.01.2018, supportato sia dalle indagini dirette in sito (*Intergeo srl*) effettuate per altra Proprietà nel Luglio del 2016 che dalla conoscenza globale dei terreni presenti in zona desunta da bibliografia con particolare riferimento agli Studi di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi, ha permesso di accertare in maniera esaustiva la variabilità spaziale e verticale delle caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche del deposito ai fini di uno studio di fattibilità consentendo di stabilirne anche, in linea generale, le modalità esecutive più idonee.

In particolare la campagna geognostica del 2016 è consistita nell'effettuazione di N. 5 penetrometriche ad infissione statica oltre a una indagine geofisica del tipo sismico a rifrazione con elaborazione MASW volta alla determinazione della $V_{s,30}$,

velocità che rimane inalterata anche alla luce delle NTC2018, così come la relativa categoria di sottosuolo cui si farà pertanto riferimento nel presente elaborato.

1.3.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Per l'esecuzione delle prove ad infissione statica (denominate CPT1-CPT2-CPT3-CPT4-CPT5) approfondite fino ad un massimo di -20 m di profondità dal p.c., la cui ubicazione compare nell'immagine successiva (Fig. 3), si è utilizzato un penetrometro ad infissione statica Gouda automontato da 10 ton di spinta, impiegando per la perforazione una punta Friction Jacket Cone avente un'area di 10 cm² ed un angolo alla punta di 60°, che consente di determinare il carico di rottura ed applicando opportune correlazioni, dal rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale, si risale alla granulometria e di conseguenza alla litologia dei terreni attraversati.

FIGURA 3: UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE CPT



All'interno dei fori è stato eseguito il rilievo del livello dell'acqua mediante freatimetro elettroacustico, rilievo che ha confermato la presenza di una falda idrica superficiale.

Si riportano in allegato i diagrammi penetrometrici scaturiti dalle letture di campagna con relativa elaborazione (punta, laterale, totale) dei valori misurati in sito ogni 20 cm di avanzamento della punta nel terreno (Allegato 1).

I valori di resistenza all'infissione caratteristici dei vari livelli del sottosuolo misurati in sito, oltre a fornire utili informazioni per il riconoscimento di massima della litologia dei terreni attraversati sulla base del rapporto R_p/R_l (qc/fs) fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rapporto di Begemann – Raccomandazioni AGI) ovvero sulla base dei valori di R_p e del rapporto $Fr = R_l/R_p$ % (Schemertmann), possono essere empiricamente correlati anche ad alcune delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni.

I dati ricavati da tali correlazioni mediante l'ausilio di apposito software commercializzato dalla ditta *Geostru* denominato *Static Probing* ed analisi dei principali parametri geotecnici sono stati tabulati e riportati nell'apposito capitolo ove si è altresì schematizzata la successione stratigrafica (Cap. 3).

Si è inoltre effettuata una valutazione della suscettività alla liquefazione da prove penetrometriche (§ 3.1 - Allegato 2).

1.3.2 INDAGINE SISMICA

L'indagine geofisica, di cui si riporta in allegato l'apposito rapporto tecnico (Allegato 3) che illustra modalità di intervento ed analisi dei risultati, è consistita in prospezione sismica di superficie con tecnica a rifrazione delle onde P e determinazione sperimentale mediante inversione con metodo M.A.S.W. (Multychannel Analisis of Surface Waves) del valore di $V_{s,eq}$.

Nello specifico si è eseguita n. 1 base sismica a rifrazione con sistema di acquisizione a 24 canali, ubicata come da figura (Fig. 4); per l'elaborazione MASW si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata mediante mazza battente a ml. 5.00 dal geofono n. 1 in posizione di sparo estremo sinistro rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a 1.50 ml.

FIGURA 4: ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINE MASW



L'analisi dei risultati ottenuti ha portato alla caratterizzazione sismo-stratigrafica dei terreni sia di tipo geometrico che meccanico, con determinazione degli strati e delle velocità media delle onde sismiche longitudinali (V_p); l'elaborazione MASW ha portato all'individuazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) fino a una profondità di circa 43.96 m dal p.c.

Sulla base della $V_{s,30}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni) si è individuata la categoria sismica del suolo di fondazione che consente di quantificare l'amplificazione sismica al fine di definire lo spettro di risposta sismico del sito, ovvero i parametri valutativi litologici e geotecnici necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto e, conseguentemente, le azioni sismiche agenti sulle opere che interagiscono con il terreno di cui tenere conto nei calcoli delle strutture.

1.4 RIFERIMENTI NORMATIVI

Lo studio è stato svolto in ottemperanza alle indicazioni fornite dalle NTC2018, di cui al decreto MIT di approvazione della revisione delle norme tecniche del 17.01.2018 intitolato "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato in Gazzetta Ufficiale (G.U., 20 febbraio 2018, n. 42 - S.O. n. 8) che entra in vigore dal 22 marzo 2018, la cui Circolare applicativa è stata pubblicata in Gazzetta Ufficiale in data 11 febbraio 2019 successivamente chiarita con la Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17.01.2018".

Per quel che concerne gli aspetti geotecnici, l'abolizione definitiva del metodo alle tensioni ammissibili e l'eliminazione dei riferimenti alle zone sismiche sono tra le modifiche essenziali.

La novità più significativa è contenuta nel capitolo 6 dove, nell'ambito delle verifiche agli SLU, sono stati eliminati i doppi approcci progettuali AP1 e AP2 che erano contemporaneamente presenti nelle NTC2008. In particolare è stato conservato il solo AP2 per tutte le opere in progetto, eccezion fatta per le paratie e le gallerie ove è stato invece mantenuto l'AP1.

Nel Capitolo 2 (*Sicurezza e prestazioni attese*) ed in particolare al § 2.4.1 viene modificata la definizione di "vita nominale" e le tipologie di costruzioni per cui distinguere la vita nominale di progetto.

Per quanto riguarda le forme spettrali i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, le NTC2018 prescrivono di continuare a fare riferimento agli Allegati A e B del DM del 14 gennaio 2008 ed eventuali successivi aggiornamenti, di cui si fornisce la rappresentazione per l'intero territorio nazionale in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno T_R . In particolare il valore di a_g è desunto dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita da INGV, mentre F_0 e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Al § 3.2.2. (*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*), dove vengono definite le categorie di sottosuolo che consentono l'analisi di risposta sismica locale semplificata, il solo indicatore di riferimento per la classificazione sismica dei litotipi rimane la velocità delle onde di taglio (V_s) da determinarsi mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. Le norme consentono, in alternativa, la definizione del profilo V_s mediante il ricorso a correlazioni empiriche "di comprovata affidabilità" ovvero con i risultati di altre prove in sito (prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e prove penetrometriche statiche per i

terreni a grana fine), ma solo in subordine attribuendo, di fatto, un diverso e inferiore rango a queste metodologie per la determinazione di V_s . Sono state inoltre riviste le categorie di sottosuolo per le quali è possibile il ricorso all'approccio semplificato nella determinazione della risposta sismica locale (definite in Tab. 3.2.II), eliminando le categorie aggiuntive S1 e S2 e mantenendo soltanto A, B, C, D ed E, categoria quest'ultima che è stata ridefinita migliorando la classificazione precedentemente presentata nelle NTC2008. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, ovvero per le categorie non comprese tra A ed E, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche, e in questo caso le novità sono contenute nel § 7.3.2.1 (*Risposta sismica locale*) ove viene espressamente fatto riferimento alla necessità di *“adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni da determinare mediante specifiche indagini e prove”*.

Per la determinazione degli accelerogrammi naturali viene invece rimandato al § 3.2.3.6.

La maggiore novità contenuta nel § 7.11 riguarda le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche, per le quali i coefficienti di sicurezza parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono stati entrambi posti pari a 1. Sono inoltre state introdotte le indicazioni sulle verifiche sismiche per i rilevati e i fronti di scavo (§ 7.11.4) che vanno trattati in coerenza con quanto specificato per i pendii naturali e per i quali l'azione sismica viene ricavata in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile. Novità anche per le fondazioni superficiali (§ 7.11.5.3.1) per le quali, se l'effetto dell'azione inerziale del volume significativo di terreno viene calcolato e messo in conto esplicitamente (anziché impiegando le azioni pseudostatiche equivalenti) il valore del coefficiente di resistenza per la fondazione può essere assunto pari a 1.8 anziché 2.3.

Quanto alla sismicità, non viene più considerata la classificazione per zone sismiche ma l'accelerazione di progetto.

Per quel che concerne la Circolare applicativa, nei suoi punti più significativi il testo ribadisce il concetto che modello di calcolo e metodo di analisi rappresentano i punti cardine di ogni progetto e devono pertanto rispettare alcuni precisi requisiti. Per il modello di calcolo vengono sottolineate le prescrizioni riportate ai paragrafi § 6.2.2 (Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica) e § 7.2.6 (Criteri di modellazione della struttura e dell'azione sismica) delle NTC 2018; mentre per il metodo di analisi viene posto l'accento sui § 4.1.1 (Valutazione della sicurezza e metodi di analisi), § 6.2.4 (Verifiche della sicurezza e delle prestazioni) e § 7.3 (Metodi di analisi e criteri di verifica).

Riporta inoltre il principio con cui la norma tecnica approccia la valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti: intervenire localmente, migliorare e solo dove indispensabile adeguare le strutture all'azione sismica di domanda; per il costruito si ha quindi una richiesta di prestazione inferiore a quella che si ha per una nuova costruzione. Questo aspetto normativo è giustificato dalla volontà di perseguire la massima riduzione del rischio sismico medio sul territorio nazionale, con la consapevolezza di disporre di risorse limitate per intervenire in modo massivo su tutte le costruzioni vulnerabili.

Per quel che concerne il capitolo 6, inerente alla progettazione geotecnica, è ribadito il ruolo del progettista che, alla luce degli studi geologici, definisce le scelte tipologiche dell'opera, i materiali da costruzione, le modalità e le fasi esecutive, programma le indagini geotecniche per stabilire i modelli geotecnici di sottosuolo più appropriati alla tipologia di opera e/o intervento ed effettua le verifiche agli stati limite. Pur concorrendo entrambe alla progettazione di un'opera, le indagini per la definizione del modello geologico e le indagini geotecniche sono concettualmente diverse tra loro sia perché interessano aree e volumi diversi sia perché hanno finalità diverse. Le prime, infatti, riguardano aree e volumi di sottosuolo più ampi e sono finalizzate alla definizione del modello geologico. Le seconde interessano generalmente aree e volumi più ridotti (i volumi significativi) e sono finalizzate alla definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo specifici per la singola opera,

ovvero all'identificazione e alla valutazione quantitativa dei parametri geotecnici necessari alle relative verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio. Definito il quadro geologico di riferimento, le indagini geotecniche, logicamente consequenziali, sono quindi programmate dal progettista sulla base della conoscenza dell'opera e dei suoi possibili stati limite.

Per le Opere di Sostegno (§ C6.5.3.1.1) e le Fondazioni (§ C6.4.2.1), si conferma la semplificazione dell'onere di calcolo a carico dei progettisti, dovendo adottare i coefficienti del solo Approccio 2, con una sola combinazione di coefficienti γ , con un notevole risparmio di tempo e di ambiguità sull'approccio da adottare. La verifica a ribaltamento dei muri di sostegno, come citato nel § C6.2.4.1, viene confermata nell'ambito del solo Approccio 2 e non tramite una verifica EQU dedicata, come previsto nelle NTC2008.

Per quanto riguarda il capitolo 7 ed in particolare il § C7.2.3 (*Spettri di risposta di piano*) viene riportata una dettagliata dissertazione riguardante le modalità per la determinazione degli spettri di risposta di piano, utili per determinare le azioni sismiche agenti su elementi costruttivi non strutturali. In questo caso la Circolare risponde a quanto indicato dalle NTC nell'ultimo capoverso del medesimo paragrafo, laddove invita a "far riferimento a documenti di comprovata validità".

Il paragrafo introduce anche semplificazioni per alcune delle situazioni strutturali più semplici. Ad esempio nel caso di "strutture con masse distribuite in maniera sostanzialmente uniforme lungo l'altezza", si ritrova la stessa formula utilizzata nell'analisi dei meccanismi locali contenuta nella circolare del 2009 relativa alle NTC2008.

Per quel che concerne la gestione dei terreni derivanti dalle operazioni di scavo si farà riferimento al DPR/Regolamento 120/2017. Si tenga conto che il d.lgs. 116/2020 (GU n.226 dell'11 settembre 2020), entrato in vigore sabato 26 settembre 2020, apporta al Codice dell'ambiente - Testo unico ambientale (d.lgs. 152/2006-TUA) alcune ridefinizioni in materia di rifiuti da demolizione e costruzione (art. 183 TUA) e riempimento, intesa come operazione di recupero di rifiuti non pericolosi "idonei" per il ripristino di aree escavate, in sostituzione di materiali che non sono rifiuti. Il deposito temporaneo avviene prima della raccolta e non necessita di alcuna autorizzazione (introduzione art.185-bis). Il deposito dei rifiuti di demolizione e costruzione può avvenire anche presso le aree di pertinenza dei punti di vendita dei relativi prodotti.

Per quanto riguarda la classificazione dei rifiuti (modifiche art. 184), la corretta attribuzione dei codici dei rifiuti e la classificazione delle caratteristiche di pericolo dei rifiuti sarà effettuata dal produttore sulla base delle Linee guida redatte dal Sistema nazionale per la protezione e la ricerca ambientale.

2 MODELLAZIONE DEL SITO

2.1 LINEAMENTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Da un punto di vista morfologico l'intero territorio comunale, appartenente alla fascia di medio-bassa pianura modenese, è sostanzialmente pianeggiante riscontrandosi soltanto una lieve pendenza prevalente in direzione N-NE dell'ordine del 1-2 ‰ caratterizzato da bassissime differenze di quota e di conseguenza da un deflusso superficiale lento e meccanismi deposizionali di bassa energia, come testimoniato da una litologia superficiale marcatamente argilloso-limosa risultando interessata solo localmente e a larga scala da dossi e avvallamenti che testimoniano le antiche divagazioni dei corsi d'acqua.

Sono individuabili due ordini principali di dossi e paleovalci appartenenti al dominio appenninico con direzione NNO-SSE, nettamente prevalenti rispetto a quelli del dominio del Po ad andamento O-E, mentre tra le zone di valle si rimarca l'area tra Fossoli e Novi di Modena e quella di Prati Cortile ad Est di San Marino.

In particolare il comparto F14 in oggetto, a giacitura pianeggiante, è posto alla quota media di 23.5 ÷ 24.5 m circa s.l.m. Per quel che concerne il sistema drenante superficiale il territorio è caratterizzato da un orientamento di scorrimento preferenziale in direzione NNE-SSO, dato dalla complessa riorganizzazione dei canali di bonifica sul reticolo naturale che ha portato ad una netta divisione del territorio in rete scolante delle acque alte e delle acque basse, ed uno secondario ortogonale al primo in modo da creare una sorta di "griglia" a maglie pressoché rettangolari adattata alla morfologia naturale del terreno ed inserita con la direzione preferenziale parallelamente ai collettori principali.

La regolamentazione e il deflusso delle acque sono quindi assicurati da una fitta rete di canali artificiali sovra imposti alla rete scolante naturale, tra i quali il Cavo Lama, collettore principale della rete di Bonifica delle Acque Alte il cui bacino si chiude a Nord immediatamente a valle del centro abitato con l'immissione nel Diversivo Cavata, e la Fossetta Cappello, in cui recapitano le acque meteoriche dell'abitato ed affluisce in Località Groppo nel Collettore Acque Basse Modenesi che rappresenta il collettore principale della rete di bonifica delle Acque Basse. La rete si compone poi di ulteriori cavi di scolo secondari, oltre che di innumerevoli scoline private interdoderali, che raccolgono le acque meteoriche e le recapitano nei già citati cavi principali tendendo singolarmente a confluire in aste fluviali di ordine superiore.

La carta idrogeomorfologica del Comune di Carpi evidenzia che la zona, definita a drenaggio difficoltoso, risulta essere stata esondata seppur una sola volta.

Dal sopralluogo effettuato non si riscontrano forme chiuse o depresse che rendendo difficoltoso il drenaggio delle acque meteoriche, in relazione anche alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti, potrebbero creare problemi di ristagno idrico con conseguente peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni presenti.

Attualmente l'evoluzione geomorfologica del sito è unicamente legata agli interventi edilizi e infrastrutturali.

La morfologia rilevata e le condizioni statiche dei fabbricati presenti in zona, che non mostrano lesioni o deformazioni degne di nota attribuibili a cedimenti dei terreni di fondazione, portano a ritenere in buone condizioni di stabilità l'area d'interesse che, essendo caratterizzata da terreni nel loro complesso mediamente consistenti non interessati da processi morfodinamici in atto e/o potenziali, rende fattibile la proposta progettuale senza particolari problemi.

2.2 LINEAMENTI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI

Da un punto di vista geologico, con riferimento alla carta geologica CARG edita dalla Regione Emilia-Romagna (Fig. 5), l'area è caratterizzata dalla presenza in affioramento di terreni olocenici appartenenti al Supersintema emiliano-romagnolo

denominati AES8 Subsistema di Ravenna (*"Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m."*), qui rappresentata da tessiture limose di ambiente deposizionale di piana alluvionale.

FIGURA 5: ESTRATTO CARTA GEOLOGICA REGIONALE



Nello specifico, il sottosuolo del territorio comunale di Carpi è costituito da depositi alluvionali appartenenti al dominio deposizionale di media pianura o "Unità idrogeologica dei corsi d'acqua Appenninici", ove predominano ondulazioni ad andamento SO-NE con modificazioni delle direttrici deposizionali principali in senso O-E dovute all'influenza del dominio del Fiume Po, presente poco a Nord, ma che in epoche storiche ha influenzato aree decisamente più meridionali, sedi di modesti acquiferi generalmente profondi.

Litologicamente è caratterizzato dalla prevalenza di terreni fini (argille e limi con i relativi termini intermedi) cui s'intercalano depositi lenticolari di materiali più grossolani (sabbie limose, sabbie medio fini e subordinatamente sabbie più o meno grossolane) sedi di acquiferi molto poveri, con livelli di ghiaia generalmente solo al di sotto dei 100 m di profondità. Lungo le aste dei corsi d'acqua principali, compresi gli alvei relitti (paleoalvei), sono presenti le litologie più grossolane, mentre allontanandosi da tali zone prevalgono litologie fini conformemente alla situazione tipica delle aree di media e bassa pianura caratterizzate dalla divagazione laterale di corsi d'acqua aventi alvei poco acclivi.

La carta *Geologica tecnica* allegata allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi evidenzia per l'area in oggetto la presenza di terreni di copertura denominati ML-pi rappresentati da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limoso argillose, limi argillosi di bassa plasticità.

Nella zona d'interesse la prima lente sabbiosa geotecnicamente significativa per spessore ed estensione areale si rinviene oltre i primi -30 m di profondità dal piano campagna per quanto non sia infrequente la presenza di modeste intercalazioni sabbiose e/o sabbioso limose di spessore metrico, arealmente discontinue che tendono a chiudersi lateralmente in maniera repentina, anche a quote inferiori.

2.3 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Dal momento che il dominio dei corsi d'acqua appenninici è caratterizzato dall'assoluta prevalenza di sedimenti fini, gli acquiferi sono ospitati in esigue lenti sabbiose e sabbioso-limose discontinue, allungate in direzione SSO-NNE seguendo le direttrici di scorrimento dei fiumi appenninici, poco spesse rappresentanti soltanto il 3÷5 % dello spessore totale. Gli orizzonti sabbiosi ospitano falde idriche che si raccordano con quelle delle conoidi dell'alta pianura; hanno pertanto una alimentazione abbastanza remota potendosi ritenere trascurabili i fenomeni di infiltrazione diretta dalla superficie, essendo questa caratterizzata dalla presenza di terreni poco permeabili (limi e argille).

In superficie, nel complesso a litologia variabile caratterizzato da un'alternanza di livelli lentiformi, si riscontrano quindi orizzonti acquiferi di tipo freatico intesi come unità direttamente interessate dalla ricarica per infiltrazione superficiale, completamente separate dall'acquifero principale e dotate di acque scadenti; la grande profondità dei pozzi testimonia la scarsa disponibilità di acquiferi consistenti, ospitati in poche e sottili lenti sabbiose.

Il territorio risulta pertanto interessato da acquiferi superficiali, presenti nei primi 10÷15 m circa di profondità dal p.c., discontinui per spessore ed estensione areale, ospitanti una falda freatica libera caratterizzata da bassi valori di trasmissività il cui livello statico si attesta generalmente tra 0 (sub-affiorante) e -4 m dal p.c.; essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale, tale falda presenta una certa variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici che ne rappresentano la prevalente fonte di alimentazione, e con la rete di canalizzazione che a seconda del periodo dell'anno può essere alternativamente drenante o alimentante.

La carta della profondità media dei livelli freatici evidenzia per l'area in oggetto una profondità inferiore ai -2 m dal p.c.

Come anticipato, date le caratteristiche litologiche e stratigrafiche si esclude quindi che detta falda freatica possa risultare in comunicazione diretta con le sottostanti falde acquifere profonde per le quali possono pertanto ritenersi trascurabili i fenomeni di infiltrazione diretta dalla superficie a causa della presenza interposta di litotipi a bassa permeabilità (argilloso limosi) a copertura degli orizzonti permeabili che le contengono, che essendo alimentate dai corsi d'acqua principali risultano collegate alle circolazioni idriche sotterranee a scala regionale.

Il primo orizzonte sabbioso permeabile e discretamente continuo presente a partire dalla quota di -35÷40 m almeno dal p.c., ad eccezione della zona più a Nord del territorio comunale appartenente al dominio deposizionale del Fiume Po, è sede di falde confinate e in pressione con soggiacenza generalmente superiore ai -6 m dal p.c.

Le stratigrafie di pozzi per acqua evidenziano quindi, al di sotto dell'acquifero freatico superficiale potente come detto 10÷15 m circa, una unità sostanzialmente impermeabile (argilloso-limosa) a copertura del primo orizzonte permeabile e discretamente continuo rappresentato da materiali prevalentemente sabbiosi presenti oltre i -35÷40 m di profondità dal p.c.; si tratta del primo acquifero in pressione, peraltro non sfruttato ad uso idropotabile in quanto caratterizzato da una scadente qualità delle acque sia dal punto di vista chimico che biologico.

Al di sotto si rinviene poi un complesso sostanzialmente impermeabile costituito da argille limose con locali intercalazioni di sabbie fini limose che si spinge sino a -60 m circa dal p.c., profondità alla quale compare un secondo corpo acquifero direttamente captato dai pozzi; altri pozzi più profondi intercettano acquiferi importanti e sfruttati ad uso acquedottistico, sempre rappresentati da litotipi prevalentemente sabbiosi permeabili sormontati da orizzonti impermeabili.

Per quanto riguarda la vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale, il comparto F14 d'interesse ricade in zona a grado di vulnerabilità definito molto basso.

2.4 LINEAMENTI SISMOTETTONICI

La Carta Sismotettonica della RER evidenzia un ampio bacino fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara denominato "Bacino di Carpi", rappresentato da una vasta struttura sinclinalica sepolta ad orientamento ENE-OSO nota come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia" che trova presso Bomporto la sua massima depressione, collocata tra due grandi archi di pieghe rappresentate dalla "Zona delle pieghe pede-appenniniche" a Sud e dalla "Dorsale di Ferrarese" a Nord.

La situazione strutturale è rappresentata da thrusts con vergenza N-NE associate a faglie inverse che accompagnano il margine appenninico padano il cui fronte sepolto corrisponde agli archi di Busseto-Parma-Reggio Emilia e di Reggio Emilia-Correggio-Novati di Modena-Mirandola-Bondeno. Queste strutture deformative, che appaiono sigillate dal Pliocene medio-superiore, influiscono sui depositi soprastanti provocando blande deformazioni e una notevole differenziazione di spessore anche nei depositi tardo pleistocenici ed olocenici.

I massimi valori di intensità sismica I (MCS) registrati corrispondono agli eventi con zone epicentrali ubicate in prossimità del territorio comunale di Carpi (13.06.1928 con Mw = 4.78) e Correggio (15.10.1996 con Mw = 5.41). Gli eventi sismici, per i quali sono stati registrati valori di magnitudo superiori, sono invece stati generati in aree epicentrali decisamente distanti dai due episodi sopracitati.

Per la storia sismica completa del Comune di Carpi si rimanda al sito <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT115>.

Stando ai vertici della delimitazione dell'INGV il territorio comunale ricade nella zona sismogenetica n. 912 denominata "Dorsale Ferrarese", che rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale dove al di sotto di una spessa coltre di depositi alluvionali è presente un sistema roccioso orogeneticamente legato alla catena appenninica, fagliato da diverse importanti linee sismotettoniche, la cui genesi è riconducibile alle forze compressive che da SO spingono verso NE.

In dettaglio, il Catalogo parametrico dei terremoti italiani registra per tale zona valori massimi di magnitudo momento pari a $Mw_{max} = 6.14$. I meccanismi fessurali principali osservati per tale zona sono imputabili a movimenti lungo piani associati a faglie a cinematica inversa.

Il comune di Carpi si colloca in zona sismica 3 con valori di accelerazione $a_g=0.15g$, ed un valore di pericolosità sismica compreso tra 0.150 e 0.175.

Per quel che concerne la "Riduzione del rischio sismico" il territorio comunale è soggetto ad amplificazione stratigrafica essendo ovunque costituito da profili stratigrafici caratterizzati da $V_s < 800$ m/sec, pertanto in fase di progettazione si deve sempre valutare l'amplificazione sismica secondo le procedure indicate dalle NTC2018.

Si riportano di seguito gli estratti della cartografia di Microzonazione Sismica relativi al sito d'interesse (Fig. 6-7-8-9-10-11) che inserisce l'area tra le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (ZONA 1 - 2001 costituita da alternanze di strati di argille e argille limose con interstrati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose di provenienza appenninica).

FIGURA 6: 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

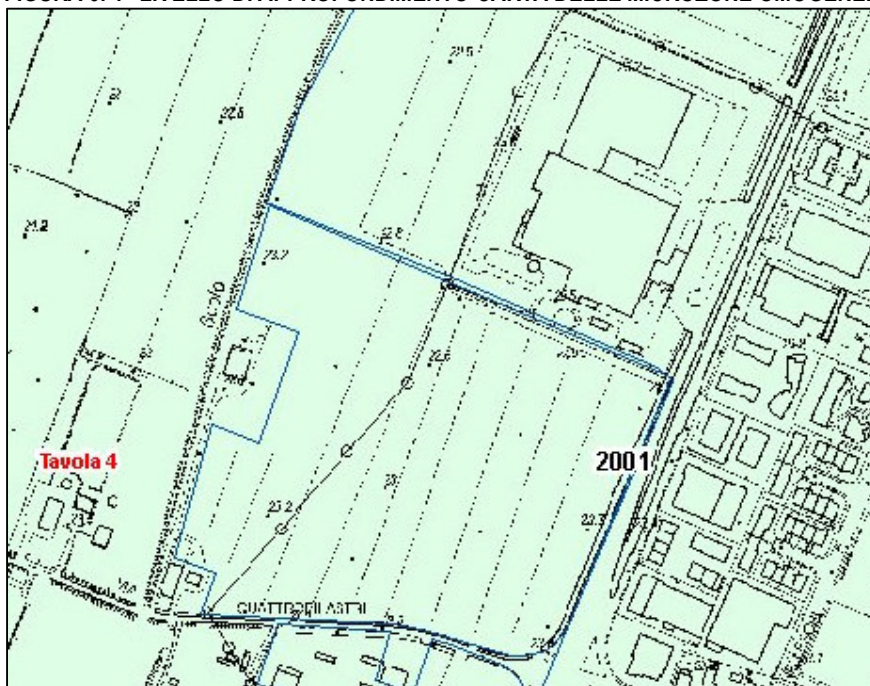
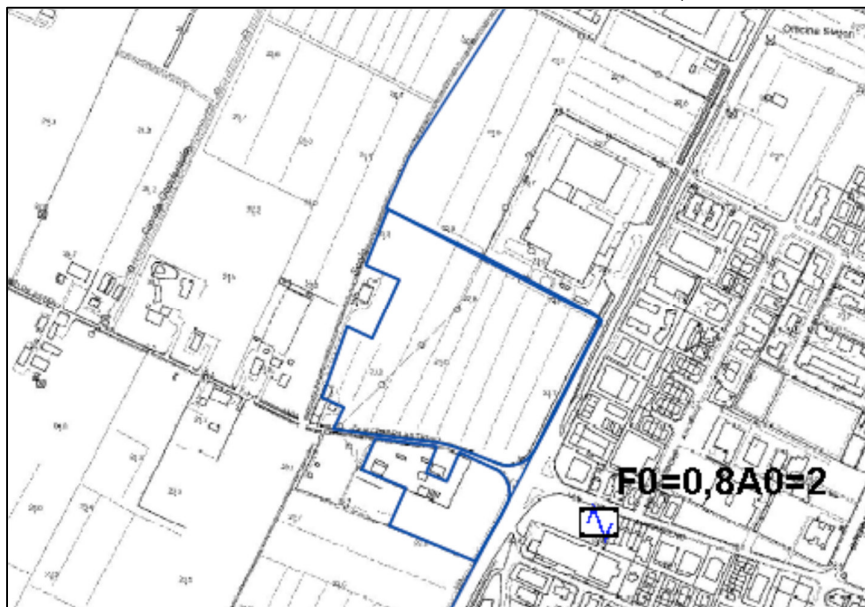


FIGURA 7: 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI



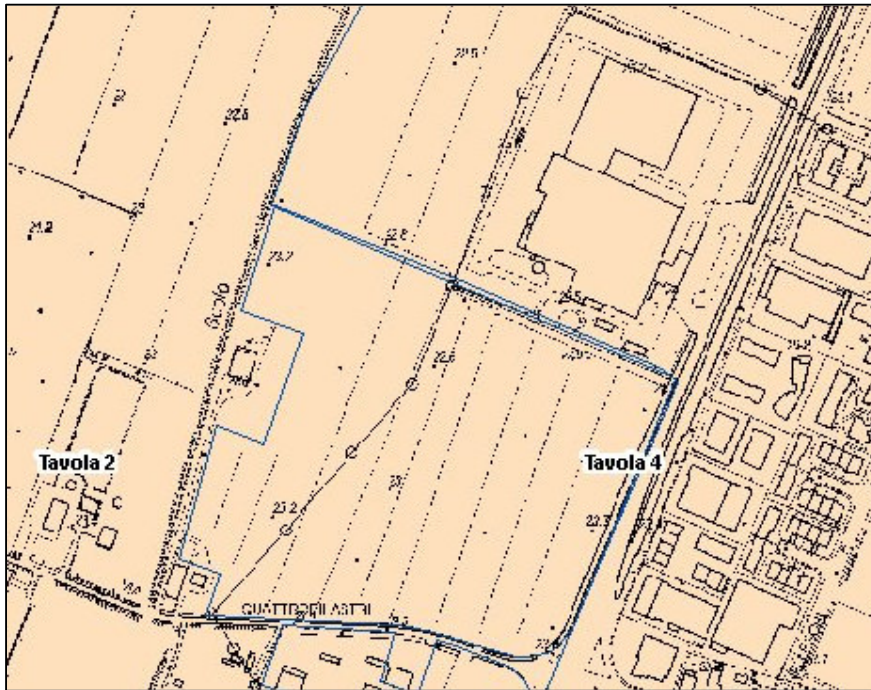
F0 - Frequenza naturale dell'indagine HVSR (in hertz)

A0 - Ampiezza del rapporto H/V



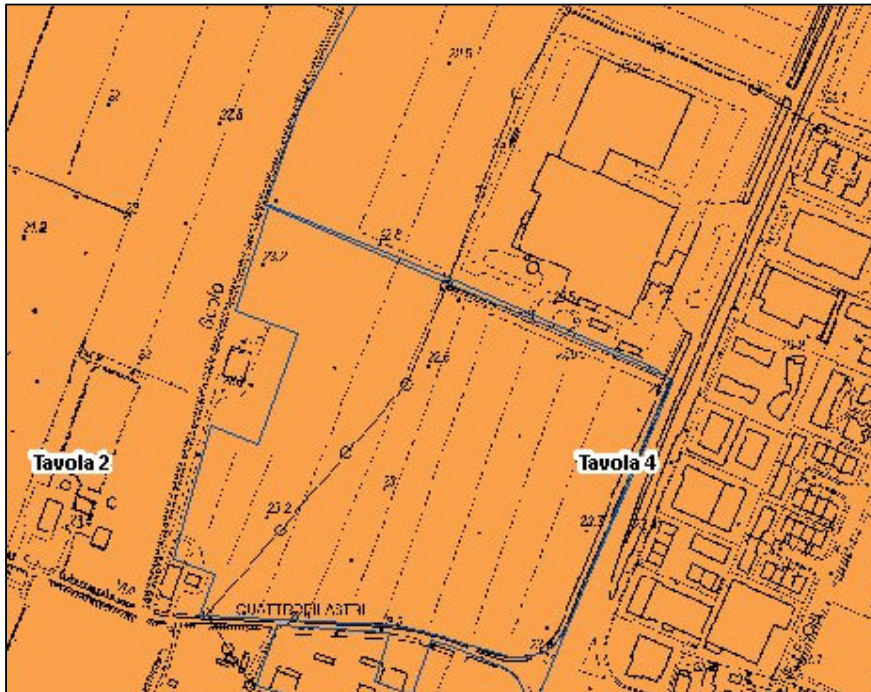
Stazione microtremore a stazione singola

FIGURA 8: 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-FA PGA



1,5 - 1,6

FIGURA 9: 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-FA SI 0.1-0.5 S



1,7 - 1,8

FIGURA 10: 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-FA SI 0.5-1 S

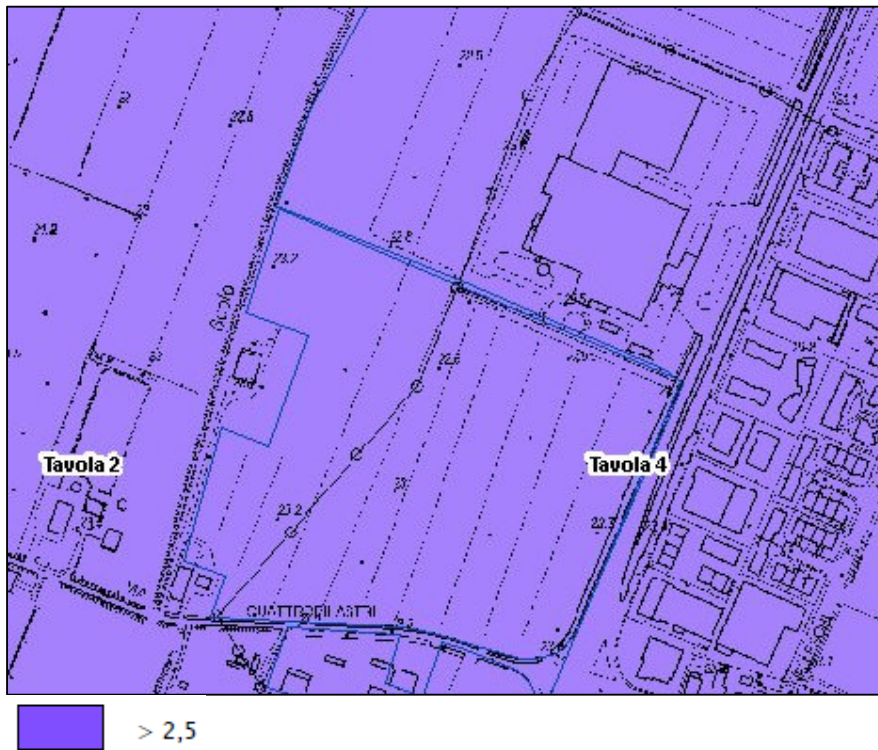
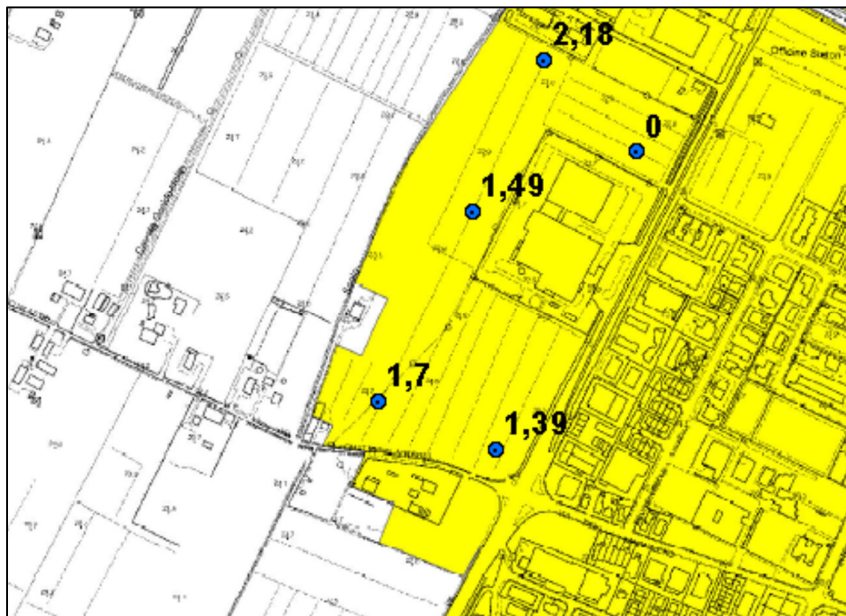




FIGURA 11: 3° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO-CEDIMENTI POST SISMICI NEI TERRENI COESIVI SOFFICI



CEDIMENTO ASSOLUTO POST SISMICO

 Basso - Accettabile per strutture in muratura e intelaiate 0-2.5 cm

 Valore cedimento assoluto post-sismico

3° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO - CEDIMENTI POST SISMICI NEI TERRENI LIQUEFACIBILI

L'area è esterna alla perimetrazione evidenziata dalla carta.

3° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO - INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'area è esterna alla perimetrazione evidenziata dalla carta.

3 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Si inseriscono in allegato i diagrammi penetrometrici scaturiti dalle letture di campagna con relativa elaborazione (punta, laterale, totale) dei valori misurati in sito ogni 20 cm di avanzamento della punta nel terreno (Allegato 1).

Le tabelle seguenti, con relativa legenda, evidenziano la schematizzazione della successione stratigrafica oltre ai principali parametri geotecnici dei vari livelli individuati, omogenei per caratteristiche litologiche e geotecniche.

Relativamente al coefficiente di sottofondo in sito (costante di Winkler), salvo la possibilità di determinazione diretta della pendenza iniziale della curva carico-abbassamento da opere eseguite, la sua corretta individuazione è limitata a prove di carico; date le difficoltà di ricavarne il valore sperimentalmente per estese fondazioni è d'uso determinarlo in funzione del modulo di elasticità del terreno ma, in relazione al fatto che le ipotesi semplificative richieste portano a sottostimarne il valore che diviene quindi di scarso interesse, si è soliti darne una valutazione qualitativa riferibile a dati sperimentali del coefficiente di sottofondo ricavati da prove con piastre standard.

Il valore della coesione drenata non si ricava dal solo utilizzo di prove penetrometriche statiche in quanto, come noto, si necessita di prove di laboratorio (prova di taglio di Casagrande e/o prova triassiale CD).

Per quanto riguarda il coefficiente di Poisson, se ne possono determinare i valori per via indiretta tramite l'elaborazione della velocità delle onde (Allegato 3).

All'atto dell'indagine (Luglio 2016) si rilevava presenza di acqua all'interno dei fori tra i -3.5 ÷ 4.0 m di profondità dal p.c. livello che, in relazione alle modalità di alimentazione della falda e alle conseguenti escursioni stagionali, non è da escludersi a priori a quote anche più superficiali.

La frangia freatica che si sviluppa entro le intercalazioni a granulometria relativamente più grossolana (limo sabbiose e/o sabbioso limose) contenute nei depositi fini di copertura al primo orizzonte sabbioso significativo, è caratterizzata da moto prevalentemente verticale, dal basso verso l'alto per fenomeni di risalita capillare e in senso inverso per fenomeni di infiltrazione superficiale, tali quindi da poter generare fenomeni di filtrazione idrica seppur modesti all'atto delle operazioni di scavo delle fondazioni ed in corrispondenza del piano di imposta delle stesse in altri periodi dell'anno.

LEGENDA

N.	Numero progressivo strato
Prof.	Profondità strato (m)
Tipo	Comportamento geotecnico C = Coesivo; I = Incoerente; CI= Coesivo-Incoerente
Cu	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR	Grado di sovraconsolidazione
γ	Peso unità di volume (t/m ³)
Dr	Densità relativa (%)
φ	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey	Modulo di Young (Kg/cm ²)
K	Coefficiente di permeabilità (cm/s)
W	Modulo di Winkler (Kg/cm ³)

L'esperienza con una buona interpretazione e correlazione permette, quindi di ottenere informazioni circa l'andamento verticale degli intervalli stratigrafici, la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche individuate ed i relativi parametri geotecnici.

L'utilizzo di tali dati, in quanto elaborati con correlazioni indirette, dovrà essere trattato con le opportune cautele ai fini della progettazione strutturale e non potrà prescindere da adeguate esperienze "geotecniche" acquisite nella zona dal Progettista.

PROVA N. CPT1

Profondità strato (m)	qc media (Kg/cm ²)	fs media (Kg/cm ²)	Comportamento geotecnico	Descrizione
p.c. - 0,60	8,1	0,8	Coesivo	Terreno vegetale superficiale argille torbose
0,60 - 1,20	32,9	2,0	Coesivo	Argille apparentemente sovracosolidate per essiccazione
1,20 - 8,60	16,2	0,9	Coesivo	Argille e argille debolmente limose compatte
8,60 - 10,00	11,6	0,4	Coesivo	Argille e argille limose discretamente compatte

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	φ	Ey	K	W
	0,60	C	0,58	302,19	38,74	100,52	3,55	1,82	--	--	--	1,00E-11	
1	1,20	C	2,34	1228,31	65,80	236,68	9,00	2,06	--	--	--	1,00E-11	2,5
2	8,60	C	1,10	576,33	47,89	153,52	8,36	1,93	--	--	--	6,11E-11	2,0
3	10,00	C	0,74	388,67	46,32	125,18	7,27	1,86	--	--	--	1,48E-06	1,8

PROVA N. CPT2

Profondità strato (m)	qc media (Kg/cm ²)	fs media (Kg/cm ²)	Comportamento geotecnico	Descrizione
p.c. - 0,60	8,1	0,5	Coesivo	Terreno vegetale superficiale argille torbose
0,60 - 1,20	20,2	1,2	Coesivo	Argille molto compatte
1,20 - 8,80	17,7	0,9	Coesivo	Argille e argille debolmente limose compatte
8,80 - 12,80	12,7	0,5	Coesivo	Argille, argille limose e limi argillosi discretamente compatti
12,80 - 20,00	21,7	1,0	Coesivo	Argille e argille limose compatte

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	φ	Ey	K	W
	0,60	C	0,58	302,19	38,74	100,52	3,55	1,82	--	--	--	1,14E-11	
1	1,20	C	1,43	752,16	41,49	175,68	9,00	1,97	--	--	--	1,00E-11	2,4
2	8,80	C	1,20	632,30	46,33	162,06	9,00	1,94	--	--	--	5,90E-10	2,2
3	12,80	C	0,76	399,37	47,57	132,31	5,85	1,87	--	--	--	1,81E-07	1,8
4	20,00	C	1,33	696,39	43,40	183,54	9,00	1,96	--	--	--	4,64E-09	2,4

PROVA N. CPT3

Profondità strato (m)	qc media (Kg/cm ²)	fs media (Kg/cm ²)	Comportamento geotecnico	Descrizione
p.c. - 0,60	6,8	0,6	Coesivo	Terreno vegetale superficiale argille torbose
0,60 - 1,20	19,5	1,2	Coesivo	Argille compatte
1,20 - 6,20	17,0	1,0	Coesivo	Argille e argille debolmente limose compatte
6,20 - 11,80	13,7	0,5	Coesivo	Argille, argille limose e limi argillosi discretamente compatti Sottile intercalazione sabbioso limosa a -10 m
11,80 - 20,00	19,4	0,9	Coesivo	Argille e argille limose compatte

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 3

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	φ	Ey	K	W
	0,60	C	0,48	253,45	34,52	90,33	2,90	1,79	--	--	--	1,00E-11	
1	1,20	C	1,38	725,94	43,13	171,94	9,00	1,97	--	--	--	1,00E-11	2,2
2	6,20	C	1,17	611,89	47,18	158,11	8,00	1,94	--	--	--	1,00E-11	2,2
3	11,80	C	0,89	468,95	48,22	138,58	8,71	1,89	--	--	--	5,95E-07	1,8
4	20,00	C	1,17	614,13	43,34	171,40	9,00	1,94	--	--	--	4,76E-09	2,2

PROVA N. CPT4

Profondità strato (m)	qc media (Kg/cm ²)	fs media (Kg/cm ²)	Comportamento geotecnico	Descrizione
p.c. - 0,60	4,1	0,5	Coesivo	Terreno vegetale superficiale argille torbose
0,60 - 1,20	16,2	1,5	Coesivo	Argille compatte
1,20 - 9,60	16,8	0,9	Coesivo	Argille e argille debolmente limose compatte
9,60 - 11,00	22,6	0,5	Incoerente	Limi sabbiosi - Sabbie limose
11,00 - 20,00	20,1	1,0	Coesivo	Argille e argille debolmente limose molto compatte

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 4

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	φ	Ey	K	W
	0,60	C	0,29	152,22	23,31	66,31	1,55	1,71	--	--	--	1,00E-11	
1	1,20	C	1,15	602,27	47,89	153,52	7,60	1,94	--	--	--	1,00E-11	2,0
2	9,60	C	1,14	597,45	47,39	156,97	9,00	1,93	--	--	--	1,60E-10	2,0
3	11,00	I	--	--	23,09	188,16	< 0.5	1,80	19,61	27,15	45,20	1,96E-04	2,0
4	20,00	C	1,22	642,36	41,73	175,15	9,00	1,95	--	--	--	8,09E-10	2,4

PROVA N. CPT5

Profondità strato (m)	qc media (Kg/cm ²)	fs media (Kg/cm ²)	Comportamento geotecnico	Descrizione
p.c. - 0,80	13,1	0,7	Coesivo	Terreno vegetale superficiale argille
0,80 - 7,80	14,5	0,9	Coesivo	Argille mediamente compatte
7,80 - 9,80	22,5	0,6	Coesivo - Incoerente	Limi compatti con sottili intercalazioni limo sabbiose
9,80 - 18,80	20,1	1,0	Coesivo	Argille e argille debolmente limose molto compatte
18,80 - 19,20	64,7	0,7	Incoerente	Intercalazione sabbiosa densa
19,20 - 20,00	18,8	0,7	Coesivo	Argille e argille limose compatte

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 5

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	φ	Ey	K	W
	0,80	C	0,93	488,92	47,88	134,84	6,05	1,90	--	--	--	2,78E-10	
1	7,80	C	0,99	517,41	48,42	143,47	7,54	1,91	--	--	--	1,00E-11	2,0
2	9,80	CI	1,53	801,79	45,00	187,65	< 0.5	1,98	21,90	27,10	45,00	3,08E-05	2,0
3	18,80	C	1,24	651,21	41,73	175,15	9,00	1,95	--	--	--	8,09E-10	2,4
4	19,20	I	--	--	60,47	357,78	< 0.5	1,90	35,10	45,00	129,40	1,00E-03	2,5
5	20,00	C	1,07	563,41	44,55	168,14	8,90	1,92	--	--	--	3,60E-07	2,2

3.1 VERIFICA ALLA SUSCETTIBILITÀ AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

L'indagine penetrometrica approfondita fino a -20 m dal p.c. non ha intercettato il primo orizzonte sabbioso geotecnicamente significativo per spessore ed estensione areale rilevando peraltro, in accordo con quanto evidenziato dalle altre prove effettuate in zona, la presenza dominante sino alla profondità di fine sondaggio di terreni coesivi di natura prevalentemente argillosa e argilloso limosa con rari e sottili livelli limo sabbiosi non continui lateralmente rilevati dalla CPT3 a -10 m, dalla CPT4 tra i -9.6 ÷ 11 m e dalla CPT5 tra i -7.8 ÷ 9.8 m che mostra anche una intercalazione sabbiosa di modesto spessore (40 cm circa) ad una profondità compresa tra -18.8 ÷ 19.2 m dal p.c.

Nonostante la situazione litostratigrafica riscontrata si è comunque effettuata un'analisi semplificata in condizioni di free-field da prove penetrometriche statiche sino alla profondità di -20 m dal p.c., valutando la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza FL dato dal rapporto tra resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR).

La falda è stata cautelativamente considerata alla profondità di -2.0 m dal p.c.

Per quanto concerne la magnitudo si è considerato il valore di 6.14, che corrisponde al valore massimo registrato nella zona sismogenetica di appartenenza (n. 912 "Dorsale Ferrarese"), mentre come valore di accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame si è utilizzato quello più cautelativo ovvero determinato dallo studio di risposta sismica locale (SLV) risultato pari a 0.262 g (2016).

Il procedimento seguito fa riferimento alla metodologia di Boulanger e Idriss (2014) in cui il coefficiente di sicurezza FL viene calcolato a partire da:

$$F_L = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma = \frac{CRR_{7.5}}{CSR_{7.5}} \cdot K_\sigma$$

dove:

$CRR_{7.5}$ Rapporto di resistenza ciclica per magnitudo $M = 7.5$;

MSF Fattore di scala della Magnitudo (Magnitude Scale Factor);

K_σ Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor);

CSR Rapporto di Tensione Ciclica (Cyclic Stress Ratio);

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento M pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 ($CSR_{M=7.5}$) attraverso la relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

Per quel che concerne la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica q_c ricavata dalle CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato q_{c1N} attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_N \cdot \left(\frac{q_c}{p_a} \right)$$

dove p_a = pressione atmosferica pari a 100kPa e q_c espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente C_N (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace), non deve superare il valore di 1.7. Dal valore di q_{c1Ncs} è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a $M = 7.5$.

Per materiali con frazione fine non trascurabile il parametro q_{c1Ncs} è ottenuto dalla relazione:

$$q_{c1n,cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1n}$$

dove:

$$\Delta q_{c1n} = \left(11.9 + \frac{q_{c1Ncs}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$$

Il valore del contenuto di fine (FC) viene calcolato con la seguente formula:

$$FC = 80 \cdot I_c - 137$$

Il parametro di comportamento del terreno I_c da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale del manicotto f_s misurate dalle prove penetrometriche CPT (Robertson, 1990):

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2}$$

dove:

Q resistenza penetrometrica normalizzata

F resistenza laterale normalizzata

Considerato che il metodo di calcolo descritto fa riferimento a prove CPTU è stata operata la modifica dei parametri di q_c ed f_s , calcolati dalle prove CPT, proposta da Johann Facciorusso, Claudia Madaï, Giovanni Vannucchi (2016).

Dal parametro F_L viene quindi calcolato il rischio di liquefazione attraverso la valutazione dell'Indice IL :

$$IL = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Ad una data quota z il fattore $F(z)$ considerato assume i seguenti valori (Iwasaki et al., 1982):

$F(z) = 0$	per $FSL > 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$	per $0.95 \leq FSL \leq 1.2$
$F(z) = 1 - FSL$	per $FSL \leq 0.95$

Il valore di profondità critica è assunto pari a 20 metri.

Nel caso specifico si è utilizzata la scala di riferimento del rischio di liquefazione proposta da Sonmez (2003):

Indice del potenziale di liquefazione I_L (SONMEZ, 2003)	Pericolosità di liquefazione
$I_L = 0$	Nulla
$0 < I_L < 2$	Bassa
$2 < I_L < 5$	Moderata
$5 < I_L < 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

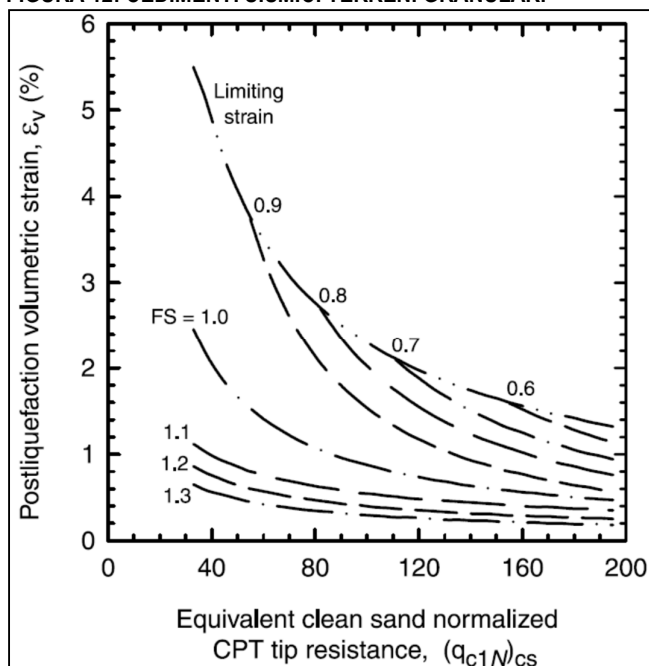
Come riportato in allegato (Allegato 2) e riassunto nella tabella seguente, il valore dell'indice di potenziale di liquefazione I_L ottenuto identifica un rischio di liquefazione da NULLO a MODERATO.

Prova	Indice di potenziale liquefazione I_L	Rischio di liquefazione
CPT1	0.00	nullo
CPT2	0.00	nullo
CPT3	0.49	basso
CPT4	2.25	moderato
CPT5	1.62	basso

L'analisi è stata poi completata con la verifica dei cedimenti sismici e post-sismici (*Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground, 2010*).

Per i terreni granulari saturi è stata effettuata attraverso la metodologia di Zhang et al. (2002), in accordo a Robertson (2009), con il cedimento (s) ottenuto mediante la valutazione della deformazione volumetrica post-sismica indotta (ϵ_v), con la seguente espressione: $S = \epsilon_v \cdot \Delta H$, dove ϵ_v viene calcolato in funzione della resistenza penetrometrica normalizzata (q_{c1N})_{cs} e del fattore di sicurezza a liquefazione (Fig. 12).

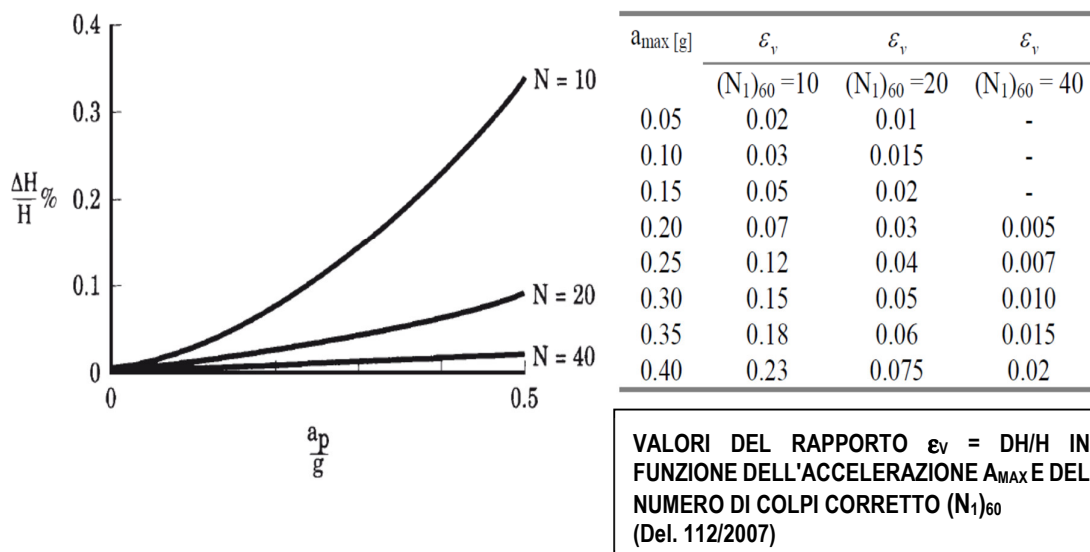
FIGURA 12: CEDIMENTI SISMICI TERRENI GRANULARI



Per i terreni fini il cedimento post-sismico, dovuto sia a fenomeni di riconsolidazione che a deformazioni di taglio indotte dalle sollecitazioni sismiche, è stato stimato sulla base del metodo proposto da Robertson (2009) che si basa sulla valutazione del fattore di sicurezza alla deformazione post-sismica, considerando il rapporto di resistenza ciclica del terreno ($CRR_{\gamma} = 3\% M = 7.5$) corrispondente al raggiungimento di una deformazione di taglio pari al 3% per un terremoto di riferimento di magnitudo pari a 7.5.

Per i terreni granulari non saturi la deformazione volumetrica di taglio dovuta alla compattazione è determinata con il metodo di Krinitzsky et al. (1993), che per calcolare il cedimento ΔH in un generico strato di altezza H (rapporto di compressione volumetrica $\varepsilon_v = \Delta H/H$, espresso in percentuale) utilizza il valore del numero di colpi corretto dello Standard Penetration Test ($(N_1)_{60}$) e il picco di accelerazione a_{max} secondo il grafico riportato in figura con relativa tabella (Fig. 13).

FIGURA 13: CALCOLO DEI CEDIMENTI IN TERRENI GRANULARI NON SATURI (KRINITZSKY ET AL. 1993)



VALORI DEL RAPPORTO $\varepsilon_v = \Delta H/H$ IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE A_{MAX} E DEL NUMERO DI COLPI CORRETTO $(N_1)_{60}$ (Del. 112/2007)

Si riassumono in tabella i valori dei cedimenti sismici calcolati i cui grafici sono riportati in allegato (Allegato 2).

Prova	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002) (cm)	Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009) (cm)	Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky, 1993) (cm)	Cedimento totale (cm)
CPT1	0.00	0.02	0.00	0.02
CPT2	0.00	0.12	0.00	0.12
CPT3	0.57	0.19	0.00	0.76
CPT4	2.51	0.09	0.00	2.61
CPT5	2.73	0.11	0.00	2.85

4 PERICOLOSITÀ E AZIONE SISMICA DA NTC2018 ALLO STATO LIMITE SLV

4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DA NTC 2018

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per questi valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, le nuove norme NCT2018 specificano di fare riferimento agli Allegati A e B del DM del 14 gennaio 2008.

Nelle tabelle di seguito riportate si è evidenziato in rosso il caso specifico in cui rientra l'intervento in previsione.

4.1.1 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (RIF. 3.2.2 NTC 2018)

Al § 3.2.2. delle NTC2018 (*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*) state riviste le categorie di sottosuolo per le quali è possibile il ricorso all'approccio semplificato (Fig. 14 - Tab. 3.2.II), *categorie* definite in base al valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$ (m/s) entro i primi 30 m di profondità al di sotto della quota d'imposta delle fondazioni.

FIGURA 14: CATEGORIE DI SOTTOSUOLO CHE PERMETTONO L'APPROCCIO SEMPLIFICATO (Tab. 3.2.II)

Tipo A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
Tipo B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
Tipo C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
Tipo D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
Tipo E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche (RSL).

Per quel che concerne l'assetto piano altimetrico, in condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici, come nel caso specifico, si può adottare la classificazione semplificata fornita dalle norme (Fig. 15 - Tab. 3.2.III) che prevede un coefficiente di amplificazione topografica S_T che tiene conto della particolare ubicazione del sito, identificando i terreni in relazione alla configurazione morfologico/geometrica in 4 categorie topografiche che si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

FIGURA 15: CATEGORIE TOPOGRAFICHE (Tab. 3.2.III)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

4.1.2 VITA NOMINALE E CLASSI D'USO

La vita nominale di progetto V_N di un'opera (§ 2.4.1 NTC2018) è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali (Fig. 16 – Tab. 2.4.I).

FIGURA 16: VALORI MINIMI DELLA VITA NOMINALE V_N DI PROGETTO PER I DIVERSI TIPI DI COSTRUZIONI (Tab. 2.4.I)

TIPI DI COSTRUZIONI		VALORI MINIMI DI V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso (Fig. 17) così come di seguito definite.

FIGURA 17: CLASSI D'USO

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il D.M. prescrive che le azioni sismiche sulle costruzioni siano valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U , definito

al variare della classe d'uso (Fig. 18 - Tab. 2.4.II) e stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio (SLO e SLD) sia ultimi (SLV e SLC), siano individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso.

FIGURA 18: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0.7	1	1.5	2

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati in figura (Fig. 19 - Tab. 3.2.I). Qualora la protezione nei confronti dello stato limite di esercizio sia di primaria importanza, i valori di P_{VR} devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

FIGURA 19: PROBABILITA' DI SUPERAMENTO P_{VR} IN FUNZIONE DELLO STATO LIMITE CONSIDERATO (Tab. 3.2.I)

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

4.2 CONDIZIONI DI SITO E CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

L'areale di indagine si sviluppa su una superficie pianeggiante appartenente alla medio-bassa pianura modenese in un contesto deposizionale alluvionale continentale, di origine fluviale, la cui tendenza evolutiva naturale è attualmente conservativa; in quanto agli aspetti legati all'evoluzione morfologica si verifica l'assenza di elementi di evoluzione morfologica e/o di fenomeni erosivi di entità apprezzabile (dissesti idrogeologici attivi o quiescenti) che possono interferire con i fabbricati commerciali in previsione.

Trattandosi di un'area di pianura stabile e pianeggiante, si escludono naturalmente fenomeni di amplificazione locale per cause topografiche (**categoria T1** alla quale è associato un coefficiente S_T pari a **1.0**).

Stando alle carte della Microzonazione Sismica, nel territorio sono presenti faglie superficiali che per la loro collocazione non sono però tali da indurre un pericolo sismico aggiuntivo.

L'indagine penetrometrica approfondita fino a -20 m dal p.c. non ha intercettato il primo orizzonte sabbioso geotecnicamente significativo per spessore ed estensione areale, rilevando peraltro, in accordo con quanto evidenziato dalle altre prove effettuate in zona, la presenza dominante sino alla profondità di fine sondaggio di terreni coesivi di natura prevalentemente argillosa e argilloso limosa con rari e sottili livelli limo sabbiosi non continui lateralmente rilevati dalla CPT3 a -10 m circa, dalla CPT4 tra i -9.6 ÷ 11 m e dalla CPT5 tra i -7.8 ÷ 9.8 m ove si rinviene anche una intercalazione sabbiosa di modesto spessore (40 cm circa) alla profondità di -18.8 ÷ 19.2 m dal p.c.

Da un punto di vista idrogeologico locale si rilevava la presenza di una falda idrica superficiale con livello piezometrico posto, all'atto dell'indagine (Luglio 2016), tra i -3.5 ÷ 4.0 m di profondità dal p.c. livello che, in relazione alle modalità di alimentazione della falda e alle conseguenti escursioni stagionali, non è da escludersi a priori a quote anche più superficiali.

La valutazione della suscettività alla liquefazione effettuata ha portato all'identificazione di un rischio che può definirsi nullo nella zona delle prove CPT1-CPT2, basso nella zona delle prove CPT3-CPT5 e moderato in corrispondenza della verticale della CPT4, essendosi ottenuto un indice di potenziale di liquefazione I_L con valori compresi tra $0.00 \div 2.25$ (§ 3.1 - Allegato 2).

Per contro la cartografia di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi, che inserisce l'area tra le "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" (§ 2.4-Lineamenti sismotettonici) con un FA della PGA calcolato pari a 1.5-1.6, esclude quindi l'occorrenza di fenomeni di liquefazione e di conseguenza gli approfondimenti di 3° livello sull'indice di potenziale liquefazione e cedimenti post-sismici.

L'analisi dei risultati ottenuti con l'indagine MASW che ha registrato valori di V_s crescenti con la profondità, evidenziando quindi l'assenza di inversioni, ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a -43.96 ml circa dal p.c., come risulta anche dalla tabella di seguito inserita.

G0: Modulo di deformazione al taglio (*);												
Ed: Modulo edometrico (*);												
M0: Modulo di compressibilità volumetrica (*);												
Ey: Modulo di Young (*);												
*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).												
N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm ³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.99	1.99	93.34	228.63	1800	0.4	15.68	94.09	73.18	43.91	6	16.52
2	6.19	4.2	157.99	524.01	1860	0.45	46.43	510.72	448.82	134.65	26	232.57
3	8.62	2.42	170.27	417.08	1870	0.4	54.22	325.3	253.01	151.81	21	338.79
4	12.51	3.9	187.13	350.09	1880	0.3	65.83	230.42	142.64	171.17	24	544.41
5	26.95	14.43	233.85	775.59	1890	0.45	103.35	1136.9	999.09	299.73	44	1668.44
6	29.96	3.01	283.62	590.41	1900	0.35	152.84	662.31	458.52	412.67	89	4400.05
7	43.96	14	288.4	600.35	1910	0.35	158.86	688.4	476.58	428.93	73	4785.13
8	∞	∞	341.25	835.88	1930	0.4	224.75	1348.47	1048.81	629.29	0	N/A

Non essendosi riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s entro tale profondità si è reso necessario procedere al calcolo del valore di $V_{s,eq}$ (Fig. 20).

FIGURA 20: CALCOLO DEL VALORE DI $V_{s,30}$ DA ELABORAZIONE MASW

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.99	1.99	93.34	0.021320
2	6.19	4.20	157.99	0.026584
3	8.62	2.43	170.27	0.014271
4	12.51	3.89	187.13	0.020788
5	26.95	14.44	233.85	0.061749
6	29.96	3.01	283.62	0.010613
7	43.96	0.04	288.40	0.000139
		$V_{s,30}$ calcolato		192.97 [m/s]
		Errore strumentale		0.011 [%]
		$V_{s,30}$ - Max		192.99 [m/s]
		$V_{s,30}$ - Min		192.95 [m/s]

Ai sensi del DM 17.01.2018 (GU n. 42 del 20.02.2018, Suppl. Ordinario n. 8) punto 3.2.2. "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", il sito d'interesse ricade in una categoria di tipo **C** essendosi calcolata una $V_{s,30}$ pari a 192.97 m/s a partire dal p.c. assunto come quota = 0 m, categoria che rimane inalterata considerando l'effettivo piano di posa delle fondazioni (Allegato 3).

In relazione all'assetto stratigrafico la zona è ricade tra le "Aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche" (amplificazione stratigrafica).

Pertanto, sulla base della categoria del sottosuolo ottenuta (C) e della categoria topografica (T1), si è proceduto ad una valutazione dell'azione sismica mediante approccio semplificato.

4.3 AZIONE SISMICA DA NTC 2018 SLV – APPROCCIO SEMPLIFICATO

Sulla base del reticolo sismico di riferimento nazionale riportato in figura (Fig. 21) si sono calcolati con apposito software i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun periodo di ritorno di riferimento e stato limite, riportati in tabella (Fig. 22).

FIGURA 21: PUNTI DELLA GRIGLIA UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI VALORI DEI PARAMETRI



In relazione alla tipologia edilizia in previsione si attribuisce la Classe d'uso III (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi) e di conseguenza un coefficiente della costruzione (C_U) = 1.5; stabilendo una Vita nominale della costruzione (V_N) di 50 anni, il Periodo di riferimento P_{VR} ($V_N \cdot C_U$) risulta pari a 75 anni e il periodo di ritorno per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) T_R pari a 712 anni.

FIGURA 22: VALORI DEI PARAMETRI a_g , F_0 , T_C^* PER I PERIODI DI RITORNO T_R ASSOCIATI A CIASCUN SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,050	2,516	0,262
SLD	75	0,064	2,489	0,274
SLV	712	0,180	2,550	0,274
SLC	1462	0,239	2,487	0,282

Dai coefficienti di amplificazione stratigrafica (S_s), di correzione del valore di T_C^* (C_C), di amplificazione topografica (S_T) sono stati calcolati gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale per il sito in oggetto per lo Stato Limite di Salvaguardia della vita (Fig. 23-24).

FIGURA 23: SPETTRI DI RISPOSTA (COMPONENTI ORIZZONTALI E VERTICALI) PER LO STATO LIMITE SLV

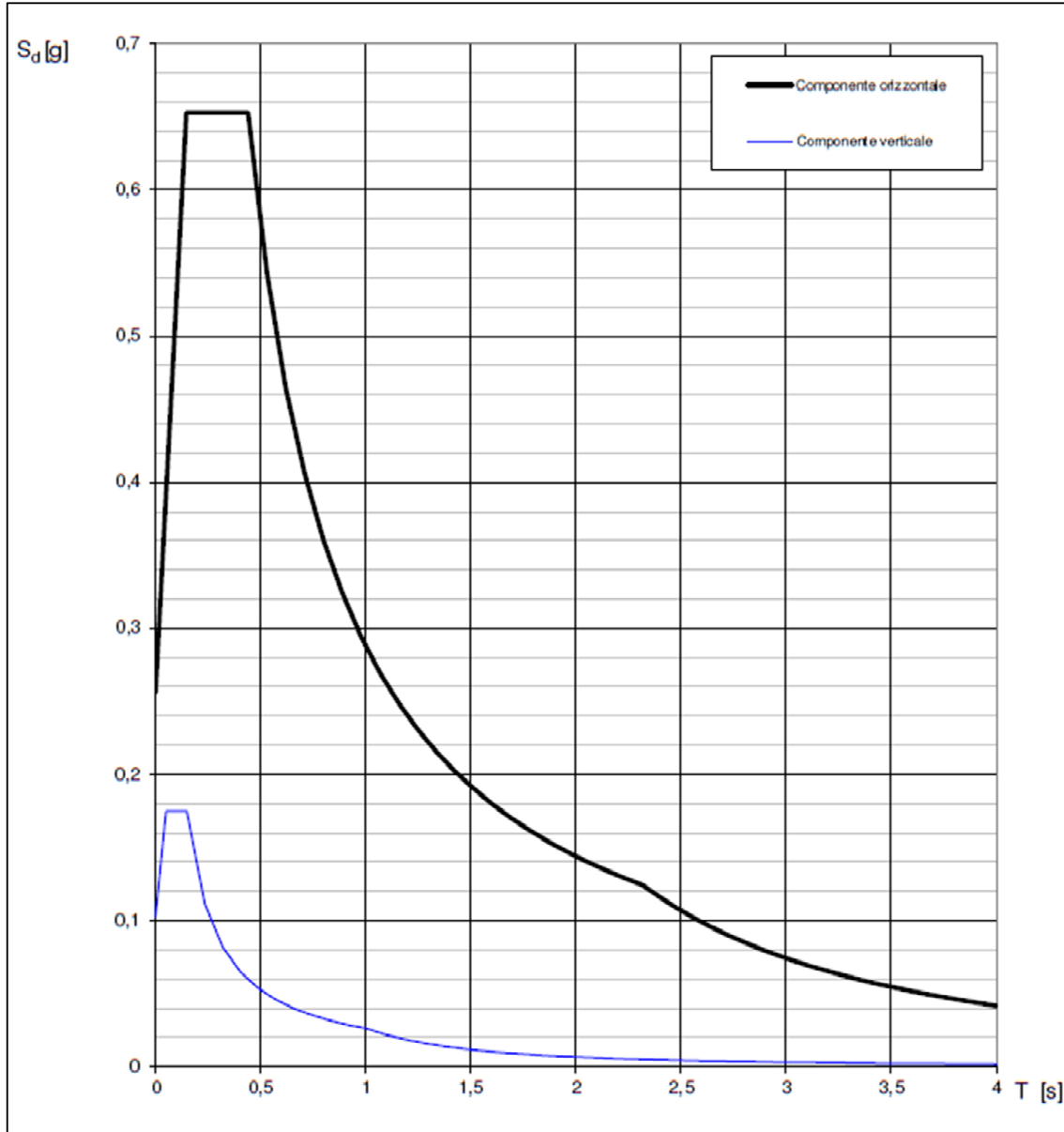


FIGURA 24: PARAMETRI E PUNTI DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ORIZZONTALE PER LO STATO LIMITE SLV

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	Se [g]
a_g	0,180 g	0,000	0,256
F_o	2,550	0,147	0,653
T_c	0,274 s	0,441	0,653
S_s	1,425	0,530	0,543
C_c	1,610	0,620	0,465
S_T	1,000	0,709	0,406
q	1,000	0,799	0,361
		0,888	0,324
		0,977	0,295
		1,067	0,270
		1,156	0,249
		1,246	0,231
		1,335	0,216
		1,425	0,202
		1,514	0,190
		1,603	0,180
		1,693	0,170
		1,782	0,162
		1,872	0,154
		1,961	0,147
		2,051	0,140
		2,140	0,135
		2,229	0,129
		2,319	0,124
		2,399	0,116
		2,479	0,109
		2,559	0,102
		2,639	0,096
		2,719	0,090
		2,799	0,085
		2,879	0,081
		2,959	0,076
		3,039	0,072
		3,119	0,069
		3,199	0,065
		3,280	0,062
		3,360	0,059
		3,440	0,056
		3,520	0,054
		3,600	0,052
		3,680	0,049
		3,760	0,047
		3,840	0,045
		3,920	0,043
		4,000	0,042

Parametri dipendenti	
Parametro	Valore
S	1,425
η	1,000
T_B	0,147 s
T_C	0,441 s
T_D	2,319 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_s \cdot S_T$

$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$

$T_B = T_c / 3$

$T_C = C_c \cdot T_c^*$

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$

Espressioni dello spettro di risposta

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
 $T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$
 $T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$
 $T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Comune di Carpi - Protocollo n. 78816/2021 del 27/12/2021

Firmato digitalmente da: vaccari anna il 06/12/2021 18:57:59

Si attesta, ai sensi dell'art. 23 del Decreto Legislativo 7 marzo 2005, n. 82, che la presente copia analogica è conforme in tutte le sue componenti al documento informatico originale depositato agli atti presso il Comune di Carpi.

5 CONCLUSIONI

Con riferimento ai risultati della campagna geognostica diretta in sito (Luglio 2016), supportata dalle cartografie tematiche, si esprime per quanto di competenza parere positivo relativamente agli interventi proposti da PIRANI GROUP S.r.l. in area a destinazione commerciale (strutture per attività di vendita alimentare e non) denominata comparto F14 sita a Carpi (MO) in Tangenziale Bruno Losi angolo Via Quattro Pilastrini assoggetta a Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata, da realizzarsi nel rispetto di quanto indicato in relazione redatta alla luce del D.M. 17.01.2018.

Per la ricostruzione della successione litostratigrafica e la definizione dei principali parametri geotecnici dei terreni si sono effettuate un totale di N. 5 prove penetrometriche statiche, approfondite fino a un massimo di -20 m dal p.c., oltre a un'indagine sismica a rifrazione delle onde P con determinazione sperimentale mediante inversione con metodo MASW del valore di $V_{S,eq}$.

Dal momento che da cartografia di Microzonazione Sismica il comparto F14 in oggetto è esente dagli approfondimenti di 3° livello sull'indice di potenziale liquefazione e cedimenti post-sismici, non ricadendo tra le aree di attenzione per instabilità (liquefazione), per quel che concerne l'amplificazione sismica l'elaborazione è stata realizzata in questa sede considerando le accelerazioni previste dalle NTC2018 per una Classe d'uso di tipo III (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi) con coefficiente della costruzione (C_U) pari a 1.5, stabilendo una Vita nominale della costruzione (V_N) pari a 50 anni con risultante periodo di riferimento $P_{VR} (V_N * C_U)$ pari quindi a 75 anni, ottenendo un periodo di ritorno per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) T_R pari a 712 anni.

Data la tipologia dei fabbricati commerciali in previsione, ed in particolare della struttura di vendita alimentare che insisterà nel lotto A, e in relazione pure agli studi di MS di 2° Livello che hanno calcolato per l'area in esame fattori di amplificazione della PGA (1.5-1.6) più elevati rispetto a quelli definiti dalle NTC2018 per suoli di tipo "C" come quelli rilevati nell'area dall'indagine geofisica MASW, per quel che concerne la definizione dell'azione sismica si rimanda alla fase esecutiva l'effettuazione di una dettagliata verifica delle condizioni sismiche del sito con caratterizzazione e modellazione geologico-geotecnica ottenuta mediante apposita analisi di Risposta Sismica Locale.

Si riassumono di seguito le caratteristiche del sito:

- La topografia pianeggiante dell'area permette di attribuirle alla categoria topografica T1;
- Coerentemente al contesto di ubicazione del lotto si verifica l'assenza di elementi di evoluzione morfologica e/o di fenomeni erosivi di entità apprezzabile (dissesti idrogeologici attivi o quiescenti);
- Il sito è soggetto ad un'attività sismica media indotta sia dai terremoti documentati con epicentro nell'ambito del territorio provinciale che, di riflesso, dagli eventi appenninici e della cosiddetta Bassa;
- Stando alla cartografia di riferimento nel territorio sono presenti faglie superficiali che per la loro collocazione non sono però tali da indurre un pericolo sismico aggiuntivo;
- Il Comune di Carpi ricade in zona sismica 3;
- L'indagine geofisica ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a -43.96 m circa dal p.c.;
- L'elaborazione MASW ha fornito valori di V_{Seq} pari a 192.97 m/s a partire dal p.c. attuale;

- Il valore di $V_{s,30}$ calcolato, data l'assenza di inversioni nel profilo di velocità e la situazione litostratigrafica rinvenuta, consente di attribuire al suolo di fondazione la categoria **C**;
- Da cartografia di Microzonazione Sismica il comparto F14 risulta inserito tra le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (zona 1);
- In relazione all'assetto stratigrafico il sito è interessato da un'amplificazione locale degli effetti sismici per caratteristiche litologiche (amplificazione stratigrafica), essendosi ottenuto un coefficiente di amplificazione pari a **1.425** mediante utilizzo dell'approccio semplificato fornito da normativa (NTC2018);
- Le indagini geognostiche e geofisiche hanno mostrato, al di sotto del terreno vegetale talora apparentemente sovraconsolidato per essiccazione ed entro il "volume significativo" interessato dalla trasmissione dei carichi, l'assoluta prevalenza di terreni fini a comportamento coesivo di natura argilloso limosa, nel loro complesso mediamente consistenti, caratterizzati da parametri geotecnici che possono definirsi nella norma in relazione alla zona in cui si trovano e tali quindi da poter affrontare normali problematiche fondazionali;
- Le condizioni stratigrafiche rilevate denotano una situazione piuttosto omogenea con soltanto piccole variazioni litologiche locali, che si concretizzano nelle intercalazioni sottili e arealmente discontinue di litologie limo sabbiose imputabili alla disposizione lenticolare del deposito;
- I risultati delle verifiche alla liquefazione eseguite hanno evidenziato un indice del potenziale di liquefazione I_L compreso tra 0.00 e 1.61 che identifica un rischio di liquefazione da nullo a basso, fatta salva la verticale della CPT4 che, con un I_L pari a 2.25, individua un rischio moderato;
- Nonostante la doverosa verifica si ritiene che, nel caso specifico, il metodo osservazionale supportato dall'esperienza acquisita porti a conclusioni diverse da quelle scaturite dall'utilizzo di un software, ovvero che l'insorgenza di cedimenti permanenti post-sismici causati da fenomeni di liquefazione conseguenti a sollecitazioni dinamiche sia alquanto improbabile;
- Rafforza la tesi il fatto che da cartografia di Microzonazione Sismica, l'area risulti esterna alla perimetrazione evidenziata dalla carta (3° livello di approfondimento-Indice del potenziale di liquefazione);
- Le misurazioni effettuate all'atto dell'indagine confermano l'esistenza di una modesta falda superficiale ad una quota compresa tra i $-3.5 \div 4.5$ m circa dal p.c., livello che in relazione alle possibili escursioni stagionali non deve però escludersi a priori a quote anche più superficiali in altri periodi dell'anno;
- La suddetta falda è caratterizzata da moto prevalentemente verticale dal basso verso l'alto per fenomeni di risalita capillare e in senso inverso per fenomeni di infiltrazione superficiale, tale quindi da poter generare fenomeni di filtrazione idrica all'atto delle operazioni di scavo delle fondazioni e in corrispondenza del piano di imposta delle stesse;
- In ogni caso al fine di garantire una buona durata nel tempo e limitare i danni prodotti dall'umidità, si dovrà porre attenzione nella progettazione degli strati impermeabilizzanti;
- L'intervento non andrà ad apportare sostanziali modifiche al reticolo superficiale di scolo delle acque superficiali e sotterranee;
- Il previsto utilizzo, in larga misura, di materiali permeabili (drenanti) consentirà un'ottimale infiltrazione delle acque meteoriche nel terreno;

- La presenza di terreni fini con comportamento coesivo favorisce lo sviluppo di cedimenti per consolidazione e si dovrà porre attenzione ai cedimenti assoluti, differenziali e relative distorsioni;
- In fase esecutiva risulterà quindi di fondamentale importanza sopperire a possibili effetti di sito mediante la realizzazione di opere con adeguati requisiti prestazionali;
- In linea del tutto generale si ritiene possibile l'adozione di fondazioni dirette superficiali gettate in opera in c.a. del tipo a trave rovescia e plinti isolati associati a travi di collegamento sismico, opportunamente dimensionate in linea con i parametri geotecnici forniti;
- Prevedere una portanza maggiore, a prima vista giustificata dalla consistenza dello strato più superficiale (sovr consolidazione apparente), porterebbe all'insorgenza di cedimenti nello strato più compressibile immediatamente sottostante, con conseguenti problemi alle strutture;
- In fase di progettazione esecutiva degli interventi andrà quindi prestata particolare attenzione alla verifica di resistenza in riferimento ai carichi trasmessi, e a tal fine sarà conveniente procedere ad un raffittimento delle indagini, verificando le condizioni geotecniche assunte in questa sede ed acquisendo nuovi parametri puntuali finalizzati alle necessarie verifiche per una corretta valutazione delle interazioni nuove strutture-terreno di fondazione indotte a seguito della imposizione di carico;
- Sulla base del modello geologico-sismico e della caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondazione, sarà poi cura del calcolatore delle strutture l'effettuazione delle verifiche geotecniche agli stati limite ultimo e di esercizio (SLU, SLV ed SLE) sulle strutture in progetto sulla base delle reali combinazioni di carico, con calcolo dei cedimenti assoluti e/o differenziali come previsto dalla vigente normativa;
- Per quanto riguarda l'altezza d'imposta si consiglia di adottare una profondità di posa dell'ordine del metro in modo da evitare la coltre alterata più superficiale considerando di fatto il superamento della stessa, cercando nel contempo di restare al di sopra del livello di variazione stagionale della falda superficiale, in quanto lo strato che la contiene risulta maggiormente soggetto a variazioni di temperatura e umidità e, conseguentemente, a fenomeni di rigonfiamento e ritiro per essiccazione;
- Le operazioni di scavo delle fondazioni dovranno essere dirette in cantiere da un tecnico specifico per la verifica in corso d'opera delle condizioni geotecniche assunte in questa sede;
- Per quel che concerne la gestione dei terreni derivanti dalle operazioni di scavo, allo stato attuale si farà riferimento al DPR/Regolamento 120/2017 con piena coscienza delle ridefinizioni apportate al Codice dell'ambiente-Testo unico ambientale (d.lgs. 152/2006-TUA) con il d.lgs. 116/2020 (GU n.226 del 11.09.2020), in materia di rifiuti da demolizione e costruzione (art. 183 TUA).

La relazione è stata prodotta in conformità alla vigente normativa mediante ricostruzione del modello geologico con analisi delle criticità, pericolosità geologica, idrogeologica, geomorfologica e sismica.

I dati forniti potranno pertanto essere utilizzati e validati dai tecnici incaricati alla progettazione strutturale.

A disposizione per eventuali chiarimenti.

Modena, 04.12.2021

Dott. Geol. A. Vaccari



ALL. 1: DIAGRAMMI PENETROMETRICI E TABULATI DI CALCOLO



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **327/16** Data emissione: 12/07/16

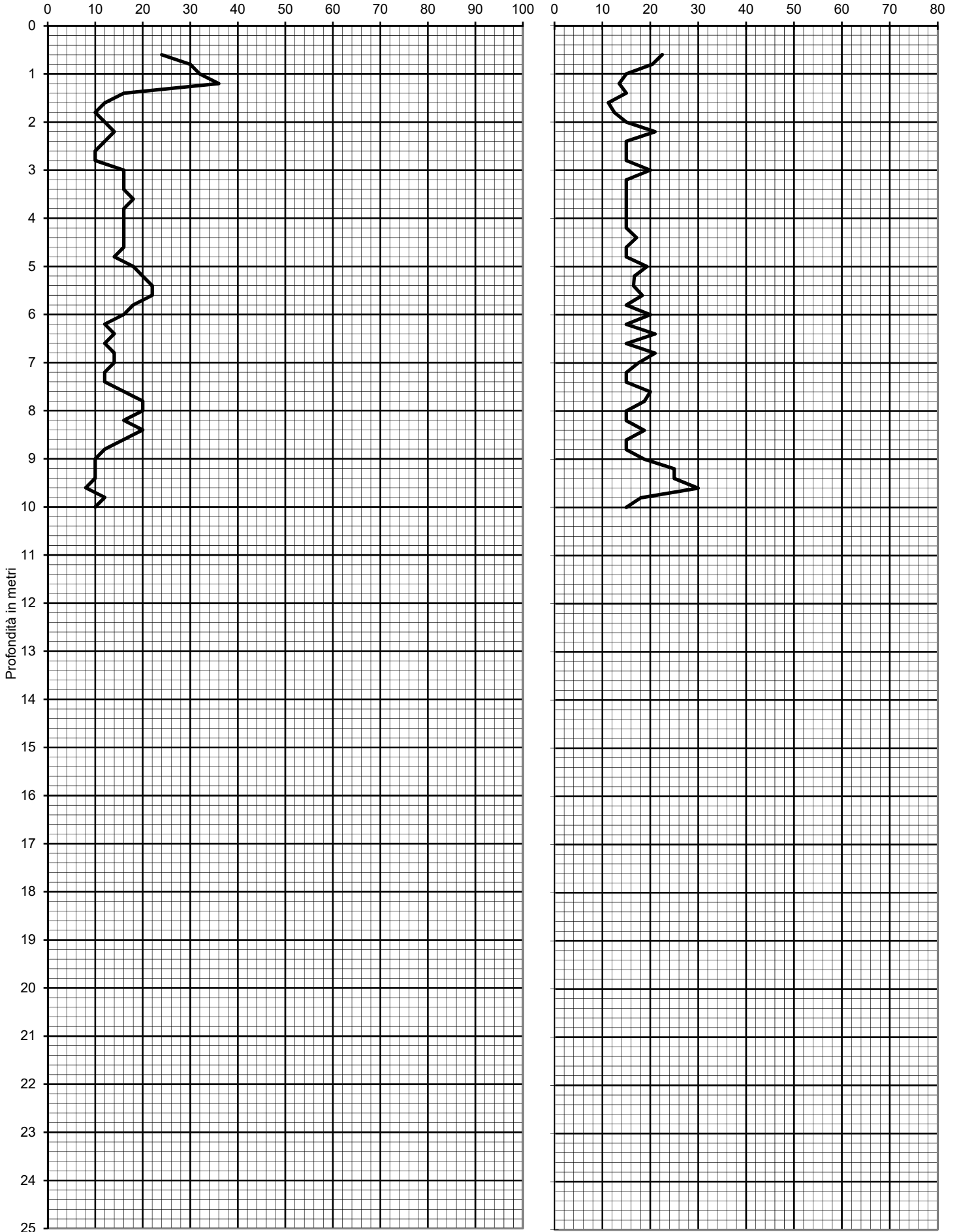
Committente : C/O ARCH. ZANELLA
Località : VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI
Prova numero : 1
Data : 12/07/2016
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Resistenza alla punta Rp (kg/cm²)

Rp/RI



Foro chiuso ed asciutto a -3,80 m



Prova n°: 1

Quota: P.C.

Data: 12/07/2016

Località: VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI

VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI

Committ.: C/O ARCH. ZANELLA

C/O ARCH. ZANELLA

Certificato: 327/16

Data emissione: 12/07/16

VIA AUSTRIA, 24 -41122 MODENA

TEL. 059 313999 FAX 059 454827

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	24	40	24	1,07	22,50
0,80	30	52	30	1,47	20,45
1,00	32	64	32	2,13	15,00
1,20	36	76	36	2,67	13,50
1,40	16	32	16	1,07	15,00
1,60	12	28	12	1,07	11,25
1,80	10	22	10	0,80	12,50
2,00	12	24	12	0,80	15,00
2,20	14	24	14	0,67	21,00
2,40	12	24	12	0,80	15,00
2,60	10	20	10	0,67	15,00
2,80	10	20	10	0,67	15,00
3,00	16	28	16	0,80	20,00
3,20	16	32	16	1,07	15,00
3,40	16	32	16	1,07	15,00
3,60	18	36	18	1,20	15,00
3,80	16	32	16	1,07	15,00
4,00	16	32	16	1,07	15,00
4,20	16	32	16	1,07	15,00
4,40	16	30	16	0,93	17,14
4,60	16	32	16	1,07	15,00
4,80	14	28	14	0,93	15,00
5,00	18	32	18	0,93	19,29
5,20	20	38	20	1,20	16,67
5,40	22	42	22	1,33	16,50
5,60	22	40	22	1,20	18,33
5,80	18	36	18	1,20	15,00
6,00	16	28	16	0,80	20,00
6,20	12	24	12	0,80	15,00
6,40	14	24	14	0,67	21,00
6,60	12	24	12	0,80	15,00
6,80	14	24	14	0,67	21,00
7,00	14	26	14	0,80	17,50
7,20	12	24	12	0,80	15,00
7,40	12	24	12	0,80	15,00
7,60	16	28	16	0,80	20,00
7,80	20	36	20	1,07	18,75
8,00	20	40	20	1,33	15,00
8,20	16	32	16	1,07	15,00
8,40	20	36	20	1,07	18,75
8,60	16	32	16	1,07	15,00
8,80	12	24	12	0,80	15,00
9,00	10	18	10	0,53	18,75
9,20	10	16	10	0,40	25,00
9,40	10	16	10	0,40	25,00
9,60	8	12	8	0,27	30,00
9,80	12	22	12	0,67	18,00
10,00	10	20	10	0,67	15,00
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **328/16** Data emissione: 12/07/16

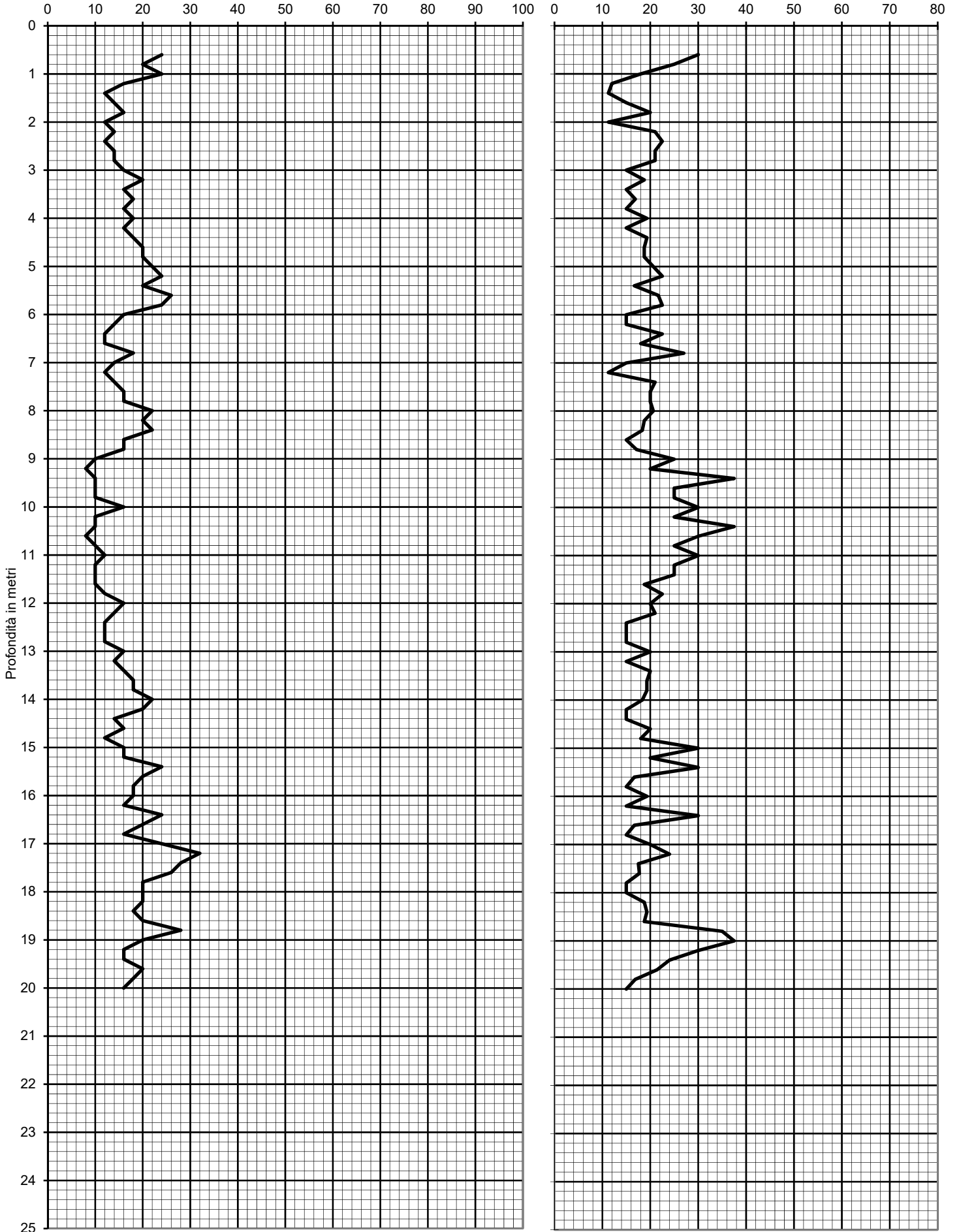
Committente : C/O ARCH. ZANELLA
Località : VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI
Prova numero : 2
Data : 12/07/2016
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Foro chiuso ed asciutto a -3,00 m



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	24	36	24	0,80	30,00
0,80	20	32	20	0,80	25,00
1,00	24	44	24	1,33	18,00
1,20	16	36	16	1,33	12,00
1,40	12	28	12	1,07	11,25
1,60	14	28	14	0,93	15,00
1,80	16	28	16	0,80	20,00
2,00	12	28	12	1,07	11,25
2,20	14	24	14	0,67	21,00
2,40	12	20	12	0,53	22,50
2,60	14	24	14	0,67	21,00
2,80	14	24	14	0,67	21,00
3,00	16	32	16	1,07	15,00
3,20	20	36	20	1,07	18,75
3,40	16	32	16	1,07	15,00
3,60	18	34	18	1,07	16,88
3,80	16	32	16	1,07	15,00
4,00	18	32	18	0,93	19,29
4,20	16	32	16	1,07	15,00
4,40	18	32	18	0,93	19,29
4,60	20	36	20	1,07	18,75
4,80	20	36	20	1,07	18,75
5,00	22	38	22	1,07	20,63
5,20	24	40	24	1,07	22,50
5,40	20	38	20	1,20	16,67
5,60	26	44	26	1,20	21,67
5,80	24	40	24	1,07	22,50
6,00	16	32	16	1,07	15,00
6,20	14	28	14	0,93	15,00
6,40	12	20	12	0,53	22,50
6,60	12	22	12	0,67	18,00
6,80	18	28	18	0,67	27,00
7,00	14	28	14	0,93	15,00
7,20	12	28	12	1,07	11,25
7,40	14	24	14	0,67	21,00
7,60	16	28	16	0,80	20,00
7,80	16	28	16	0,80	20,00
8,00	22	38	22	1,07	20,63
8,20	20	36	20	1,07	18,75
8,40	22	40	22	1,20	18,33
8,60	16	32	16	1,07	15,00
8,80	16	30	16	0,93	17,14
9,00	10	16	10	0,40	25,00
9,20	8	14	8	0,40	20,00
9,40	10	14	10	0,27	37,50
9,60	10	16	10	0,40	25,00
9,80	10	16	10	0,40	25,00
10,00	16	24	16	0,53	30,00
10,20	10	16	10	0,40	25,00
10,40	10	14	10	0,27	37,50
10,60	8	12	8	0,27	30,00
10,80	10	16	10	0,40	25,00
11,00	12	18	12	0,40	30,00
11,20	10	16	10	0,40	25,00
11,40	10	16	10	0,40	25,00
11,60	10	18	10	0,53	18,75
11,80	12	20	12	0,53	22,50
12,00	16	28	16	0,80	20,00
12,20	14	24	14	0,67	21,00
12,40	12	24	12	0,80	15,00
12,60	12	24	12	0,80	15,00
12,80	12	24	12	0,80	15,00
13,00	16	28	16	0,80	20,00
13,20	14	28	14	0,93	15,00
13,40	16	28	16	0,80	20,00
13,60	18	32	18	0,93	19,29
13,80	18	32	18	0,93	19,29
14,00	22	40	22	1,20	18,33
14,20	20	40	20	1,33	15,00
14,40	14	28	14	0,93	15,00
14,60	16	28	16	0,80	20,00
14,80	12	22	12	0,67	18,00
15,00	16	24	16	0,53	30,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	16	28	16	0,80	20,00
15,40	24	36	24	0,80	30,00
15,60	20	38	20	1,20	16,67
15,80	18	36	18	1,20	15,00
16,00	18	32	18	0,93	19,29
16,20	16	32	16	1,07	15,00
16,40	24	36	24	0,80	30,00
16,60	20	38	20	1,20	16,67
16,80	16	32	16	1,07	15,00
17,00	24	42	24	1,20	20,00
17,20	32	52	32	1,33	24,00
17,40	28	52	28	1,60	17,50
17,60	26	48	26	1,47	17,73
17,80	20	40	20	1,33	15,00
18,00	20	40	20	1,33	15,00
18,20	20	36	20	1,07	18,75
18,40	18	32	18	0,93	19,29
18,60	20	36	20	1,07	18,75
18,80	28	40	28	0,80	35,00
19,00	20	28	20	0,53	37,50
19,20	16	24	16	0,53	30,00
19,40	16	26	16	0,67	24,00
19,60	20	34	20	0,93	21,43
19,80	18	34	18	1,07	16,88
20,00	16	32	16	1,07	15,00
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **329/16** Data emissione: 12/07/16

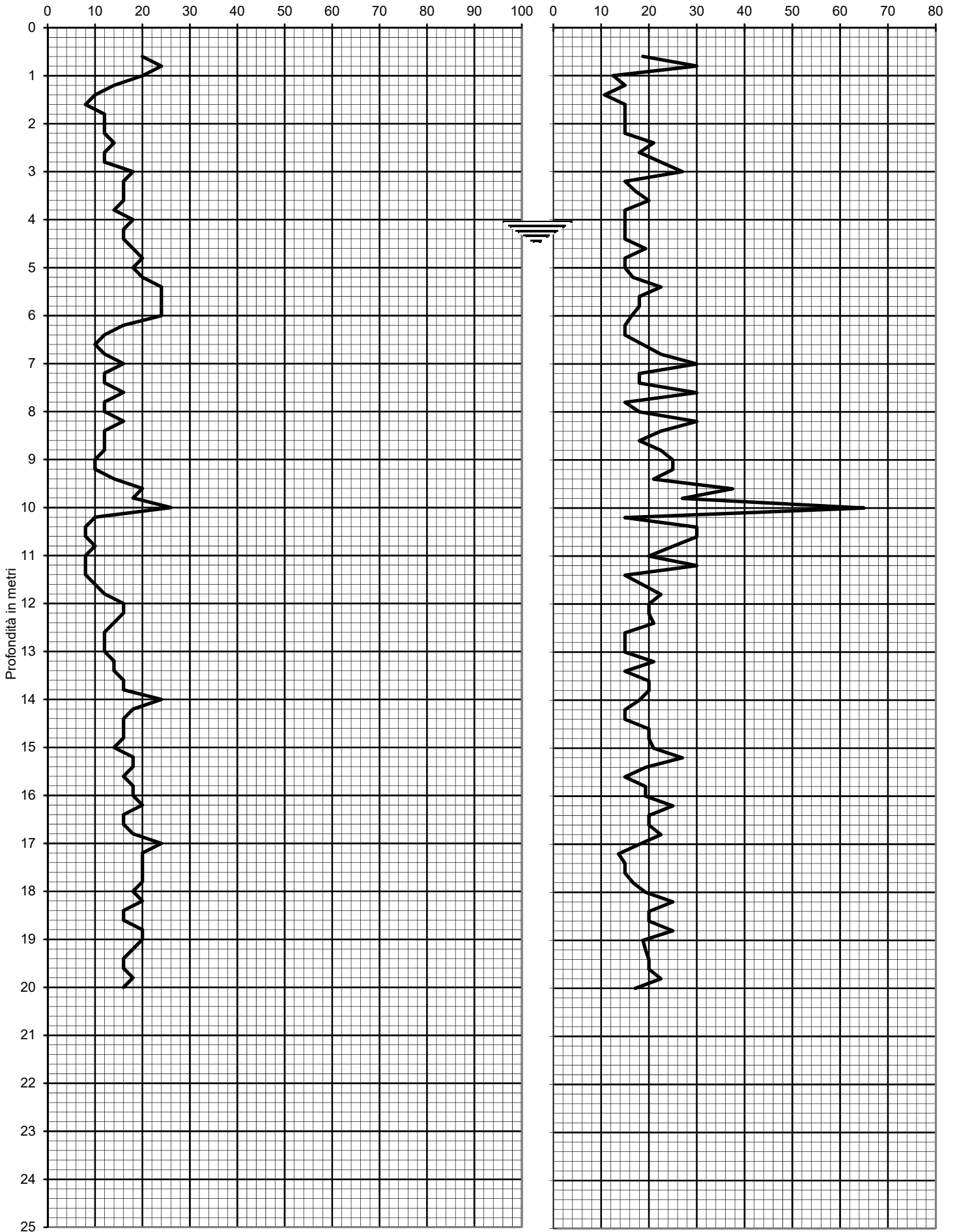
Committente : C/O ARCH. ZANELLA
Località : VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI
Prova numero : 3
Data : 12/07/2016
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Resistenza alla punta R_p (kg/cm^2)

Rp/RI





Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	20	36	20	1,07	18,75
0,80	24	36	24	0,80	30,00
1,00	20	44	20	1,60	12,50
1,20	14	28	14	0,93	15,00
1,40	10	24	10	0,93	10,71
1,60	8	16	8	0,53	15,00
1,80	12	24	12	0,80	15,00
2,00	12	24	12	0,80	15,00
2,20	12	24	12	0,80	15,00
2,40	14	24	14	0,67	21,00
2,60	12	22	12	0,67	18,00
2,80	12	20	12	0,53	22,50
3,00	18	28	18	0,67	27,00
3,20	16	32	16	1,07	15,00
3,40	16	30	16	0,93	17,14
3,60	16	28	16	0,80	20,00
3,80	14	28	14	0,93	15,00
4,00	18	36	18	1,20	15,00
4,20	16	32	16	1,07	15,00
4,40	16	32	16	1,07	15,00
4,60	18	32	18	0,93	19,29
4,80	20	40	20	1,33	15,00
5,00	18	36	18	1,20	15,00
5,20	20	38	20	1,20	16,67
5,40	24	40	24	1,07	22,50
5,60	24	44	24	1,33	18,00
5,80	24	44	24	1,33	18,00
6,00	24	46	24	1,47	16,36
6,20	16	32	16	1,07	15,00
6,40	12	24	12	0,80	15,00
6,60	10	18	10	0,53	18,75
6,80	12	20	12	0,53	22,50
7,00	16	24	16	0,53	30,00
7,20	12	22	12	0,67	18,00
7,40	12	22	12	0,67	18,00
7,60	16	24	16	0,53	30,00
7,80	12	24	12	0,80	15,00
8,00	12	22	12	0,67	18,00
8,20	16	24	16	0,53	30,00
8,40	12	20	12	0,53	22,50
8,60	12	22	12	0,67	18,00
8,80	12	20	12	0,53	22,50
9,00	10	16	10	0,40	25,00
9,20	10	16	10	0,40	25,00
9,40	14	24	14	0,67	21,00
9,60	20	28	20	0,53	37,50
9,80	18	28	18	0,67	27,00
10,00	26	32	26	0,40	65,00
10,20	10	20	10	0,67	15,00
10,40	8	12	8	0,27	30,00
10,60	8	12	8	0,27	30,00
10,80	10	16	10	0,40	25,00
11,00	8	14	8	0,40	20,00
11,20	8	12	8	0,27	30,00
11,40	8	16	8	0,53	15,00
11,60	10	18	10	0,53	18,75
11,80	12	20	12	0,53	22,50
12,00	16	28	16	0,80	20,00
12,20	16	28	16	0,80	20,00
12,40	14	24	14	0,67	21,00
12,60	12	24	12	0,80	15,00
12,80	12	24	12	0,80	15,00
13,00	12	24	12	0,80	15,00
13,20	14	24	14	0,67	21,00
13,40	14	28	14	0,93	15,00
13,60	16	28	16	0,80	20,00
13,80	16	28	16	0,80	20,00
14,00	24	44	24	1,33	18,00
14,20	18	36	18	1,20	15,00
14,40	16	32	16	1,07	15,00
14,60	16	28	16	0,80	20,00
14,80	16	28	16	0,80	20,00
15,00	14	24	14	0,67	21,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	18	28	18	0,67	27,00
15,40	18	32	18	0,93	19,29
15,60	16	32	16	1,07	15,00
15,80	18	32	18	0,93	19,29
16,00	18	32	18	0,93	19,29
16,20	20	32	20	0,80	25,00
16,40	16	28	16	0,80	20,00
16,60	16	28	16	0,80	20,00
16,80	18	30	18	0,80	22,50
17,00	24	44	24	1,33	18,00
17,20	20	42	20	1,47	13,64
17,40	20	40	20	1,33	15,00
17,60	20	40	20	1,33	15,00
17,80	20	38	20	1,20	16,67
18,00	18	32	18	0,93	19,29
18,20	20	32	20	0,80	25,00
18,40	16	28	16	0,80	20,00
18,60	16	28	16	0,80	20,00
18,80	20	32	20	0,80	25,00
19,00	20	36	20	1,07	18,75
19,20	18	32	18	0,93	19,29
19,40	16	28	16	0,80	20,00
19,60	16	28	16	0,80	20,00
19,80	18	30	18	0,80	22,50
20,00	16	30	16	0,93	17,14
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **330/16** Data emissione: 12/07/16

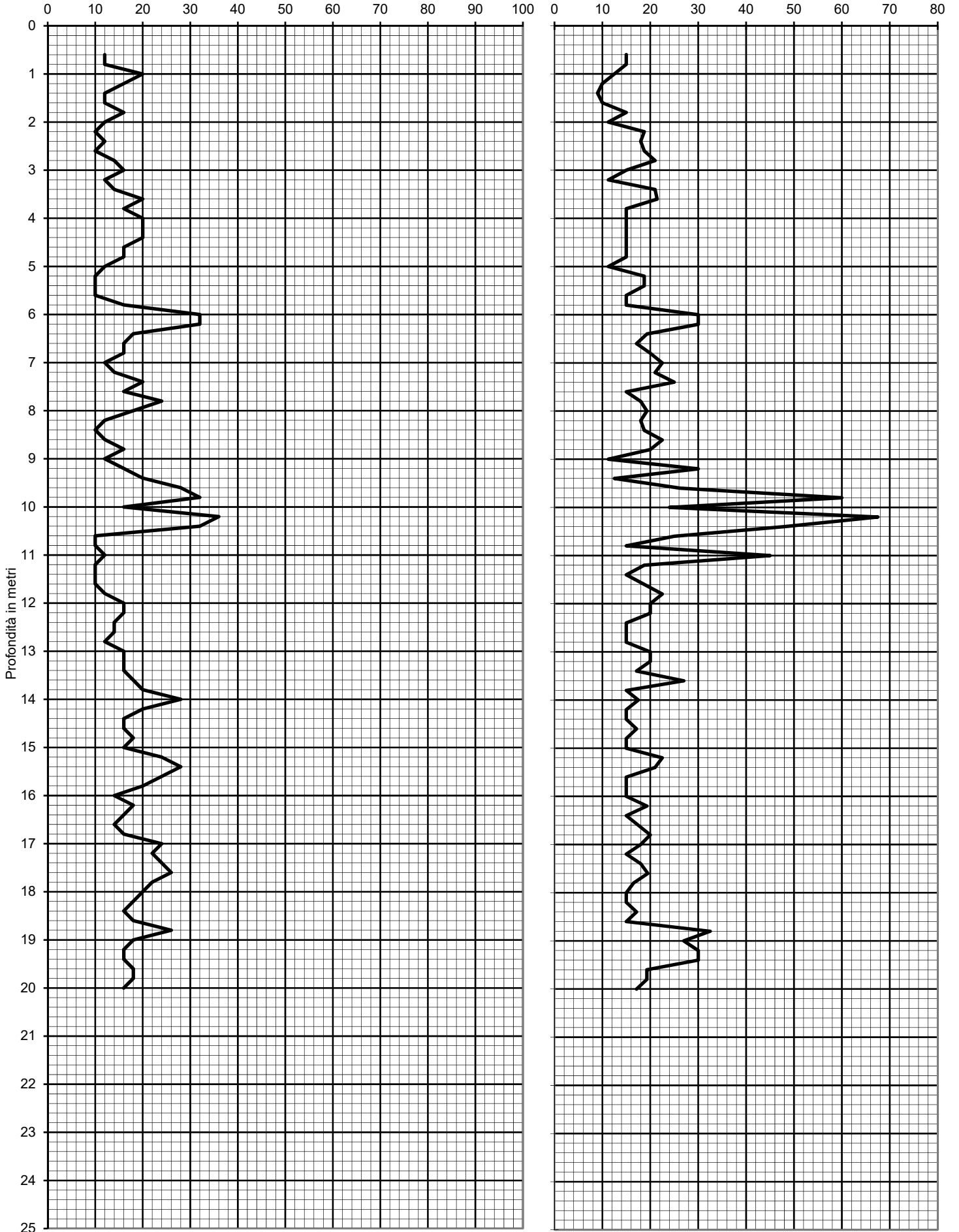
Committente : C/O ARCH. ZANELLA
Località : VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI
Prova numero : 4
Data : 12/07/2016
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Resistenza alla punta R_p (kg/cm^2)

Rp/RI



Foro chiuso ed asciutto a -3,00 m



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	12	24	12	0,80	15,00
0,80	12	24	12	0,80	15,00
1,00	20	44	20	1,60	12,50
1,20	16	40	16	1,60	10,00
1,40	12	32	12	1,33	9,00
1,60	12	30	12	1,20	10,00
1,80	16	32	16	1,07	15,00
2,00	12	28	12	1,07	11,25
2,20	10	18	10	0,53	18,75
2,40	12	22	12	0,67	18,00
2,60	10	18	10	0,53	18,75
2,80	14	24	14	0,67	21,00
3,00	16	32	16	1,07	15,00
3,20	12	28	12	1,07	11,25
3,40	14	24	14	0,67	21,00
3,60	20	34	20	0,93	21,43
3,80	16	32	16	1,07	15,00
4,00	20	40	20	1,33	15,00
4,20	20	40	20	1,33	15,00
4,40	20	40	20	1,33	15,00
4,60	16	32	16	1,07	15,00
4,80	16	32	16	1,07	15,00
5,00	12	28	12	1,07	11,25
5,20	10	18	10	0,53	18,75
5,40	10	18	10	0,53	18,75
5,60	10	20	10	0,67	15,00
5,80	16	32	16	1,07	15,00
6,00	32	48	32	1,07	30,00
6,20	32	48	32	1,07	30,00
6,40	18	32	18	0,93	19,29
6,60	16	30	16	0,93	17,14
6,80	16	28	16	0,80	20,00
7,00	12	20	12	0,53	22,50
7,20	14	24	14	0,67	21,00
7,40	20	32	20	0,80	25,00
7,60	16	32	16	1,07	15,00
7,80	24	44	24	1,33	18,00
8,00	18	32	18	0,93	19,29
8,20	12	22	12	0,67	18,00
8,40	10	18	10	0,53	18,75
8,60	12	20	12	0,53	22,50
8,80	16	28	16	0,80	20,00
9,00	12	28	12	1,07	11,25
9,20	16	24	16	0,53	30,00
9,40	20	44	20	1,60	12,50
9,60	28	44	28	1,07	26,25
9,80	32	40	32	0,53	60,00
10,00	16	26	16	0,67	24,00
10,20	36	44	36	0,53	67,50
10,40	32	42	32	0,67	48,00
10,60	10	16	10	0,40	25,00
10,80	10	20	10	0,67	15,00
11,00	12	16	12	0,27	45,00
11,20	10	18	10	0,53	18,75
11,40	10	20	10	0,67	15,00
11,60	10	18	10	0,53	18,75
11,80	12	20	12	0,53	22,50
12,00	16	28	16	0,80	20,00
12,20	16	28	16	0,80	20,00
12,40	14	28	14	0,93	15,00
12,60	14	28	14	0,93	15,00
12,80	12	24	12	0,80	15,00
13,00	16	28	16	0,80	20,00
13,20	16	28	16	0,80	20,00
13,40	16	30	16	0,93	17,14
13,60	18	28	18	0,67	27,00
13,80	20	40	20	1,33	15,00
14,00	28	52	28	1,60	17,50
14,20	20	40	20	1,33	15,00
14,40	16	32	16	1,07	15,00
14,60	16	30	16	0,93	17,14
14,80	18	36	18	1,20	15,00
15,00	16	32	16	1,07	15,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	24	40	24	1,07	22,50
15,40	28	48	28	1,33	21,00
15,60	24	48	24	1,60	15,00
15,80	20	40	20	1,33	15,00
16,00	14	28	14	0,93	15,00
16,20	18	32	18	0,93	19,29
16,40	16	32	16	1,07	15,00
16,60	14	26	14	0,80	17,50
16,80	16	28	16	0,80	20,00
17,00	24	44	24	1,33	18,00
17,20	22	44	22	1,47	15,00
17,40	24	44	24	1,33	18,00
17,60	26	46	26	1,33	19,50
17,80	22	42	22	1,33	16,50
18,00	20	40	20	1,33	15,00
18,20	18	36	18	1,20	15,00
18,40	16	30	16	0,93	17,14
18,60	18	36	18	1,20	15,00
18,80	26	38	26	0,80	32,50
19,00	18	28	18	0,67	27,00
19,20	16	24	16	0,53	30,00
19,40	16	24	16	0,53	30,00
19,60	18	32	18	0,93	19,29
19,80	18	32	18	0,93	19,29
20,00	16	30	16	0,93	17,14
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **331/16** Data emissione: 12/07/16

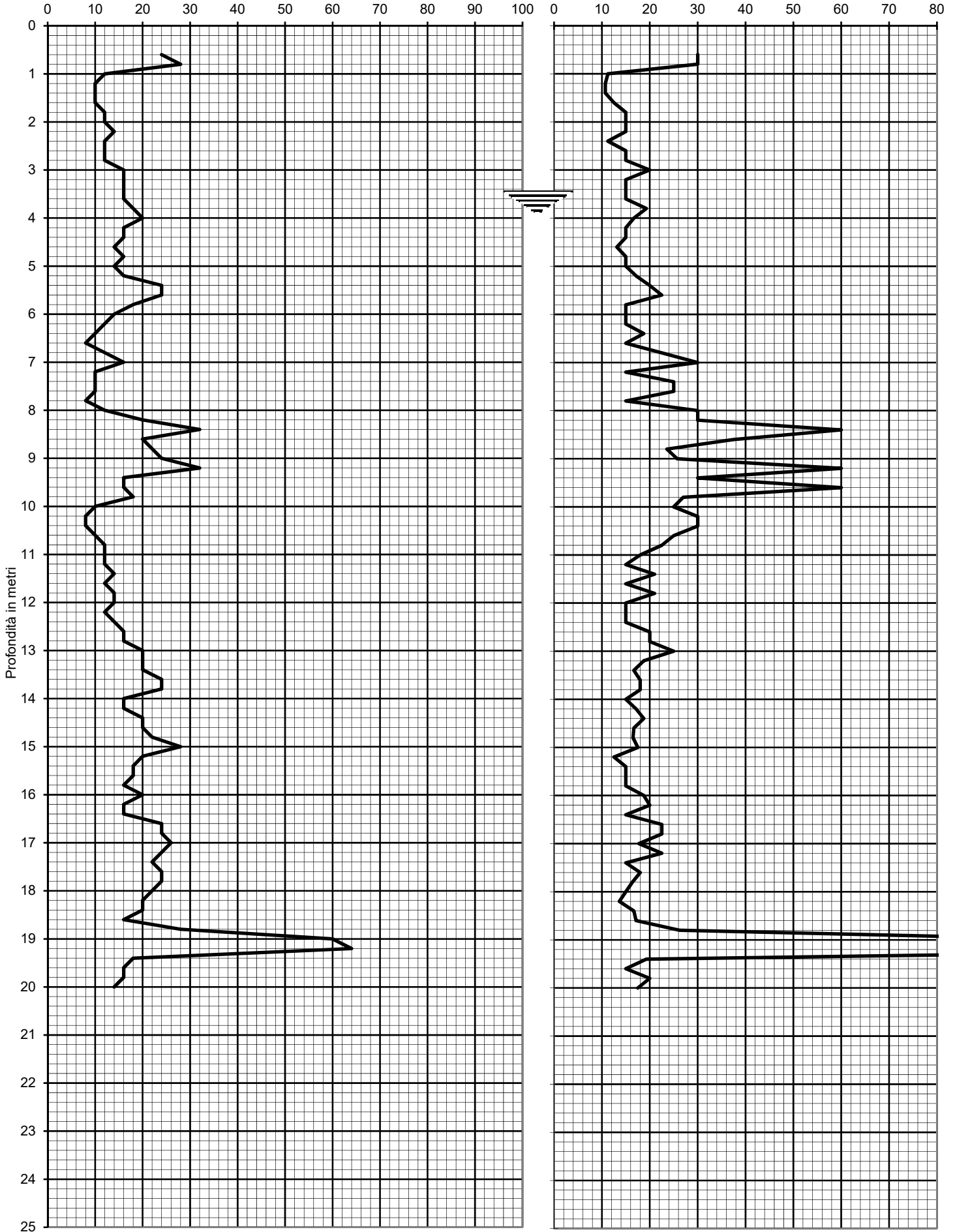
Committente : C/O ARCH. ZANELLA
Località : VIA QUATTRO PILASTRI, CARPI
Prova numero : 5
Data : 12/07/2016
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Resistenza alla punta Rp (kg/cm²)

Rp/RI





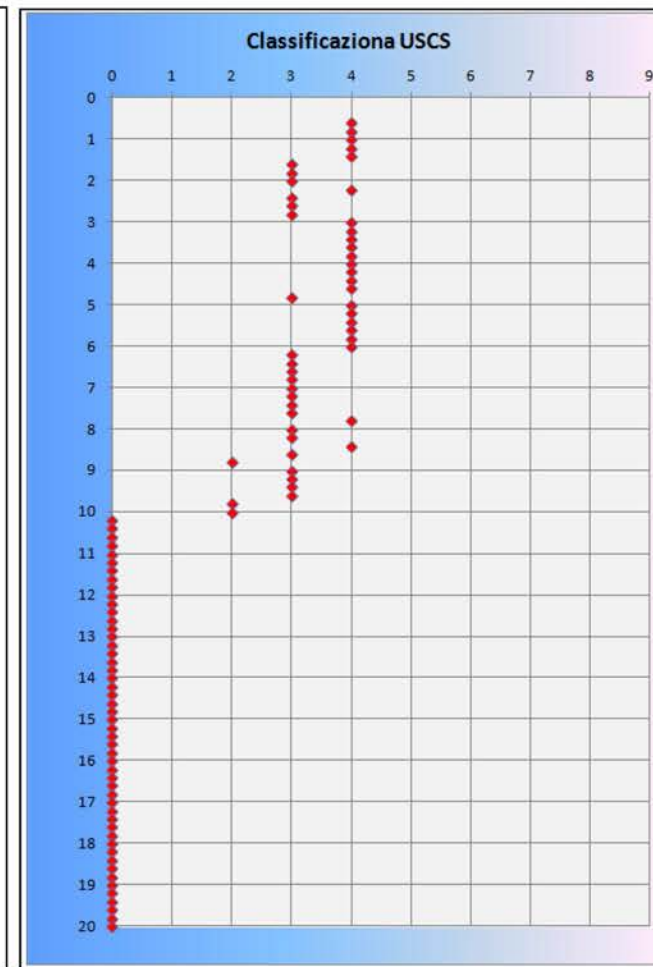
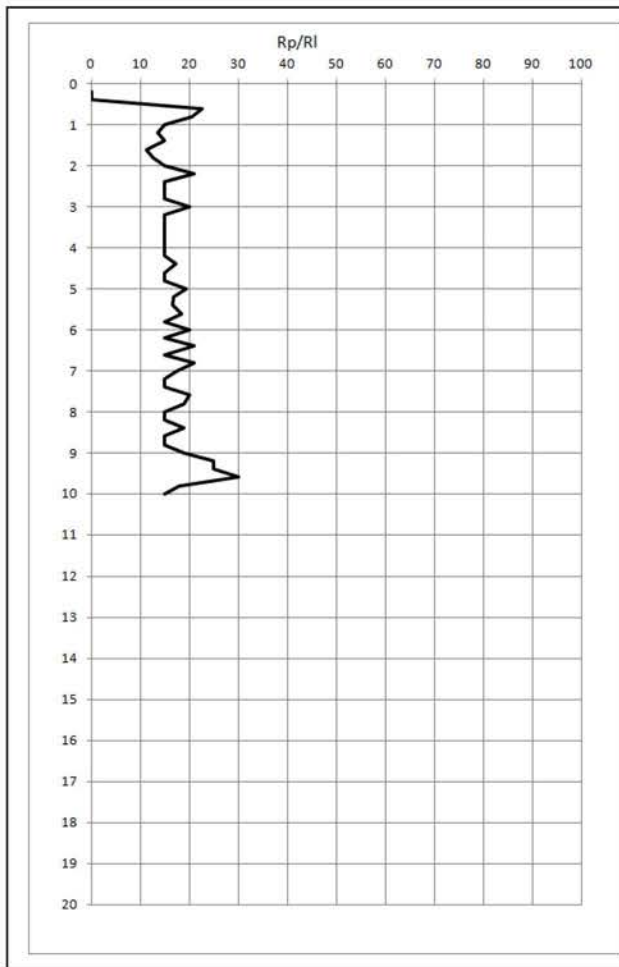
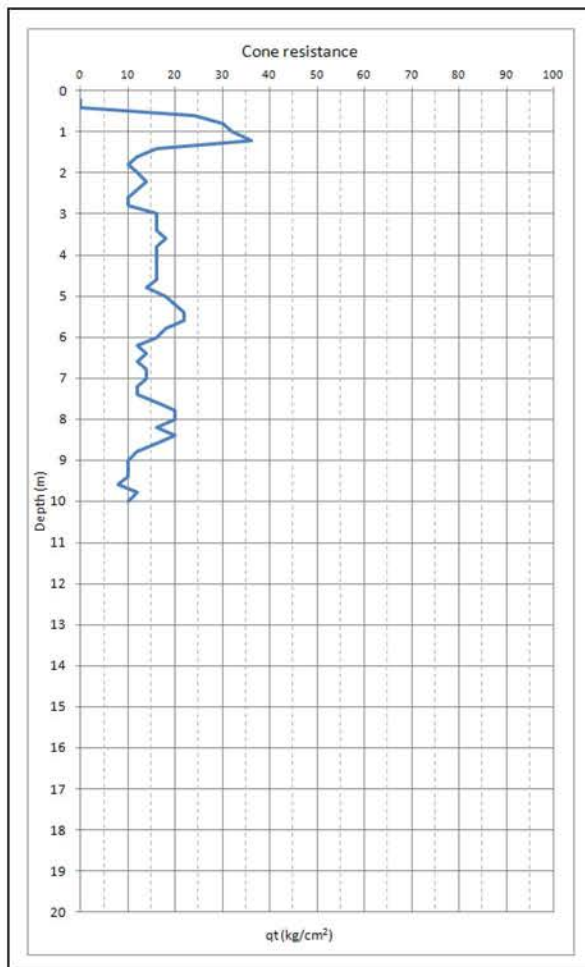
Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	24	36	24	0,80	30,00
0,80	28	42	28	0,93	30,00
1,00	12	28	12	1,07	11,25
1,20	10	24	10	0,93	10,71
1,40	10	24	10	0,93	10,71
1,60	10	22	10	0,80	12,50
1,80	12	24	12	0,80	15,00
2,00	12	24	12	0,80	15,00
2,20	14	28	14	0,93	15,00
2,40	12	28	12	1,07	11,25
2,60	12	24	12	0,80	15,00
2,80	12	24	12	0,80	15,00
3,00	16	28	16	0,80	20,00
3,20	16	32	16	1,07	15,00
3,40	16	32	16	1,07	15,00
3,60	16	32	16	1,07	15,00
3,80	18	32	18	0,93	19,29
4,00	20	38	20	1,20	16,67
4,20	16	32	16	1,07	15,00
4,40	16	32	16	1,07	15,00
4,60	14	30	14	1,07	13,13
4,80	16	32	16	1,07	15,00
5,00	14	28	14	0,93	15,00
5,20	16	30	16	0,93	17,14
5,40	24	42	24	1,20	20,00
5,60	24	40	24	1,07	22,50
5,80	18	36	18	1,20	15,00
6,00	14	28	14	0,93	15,00
6,20	12	24	12	0,80	15,00
6,40	10	18	10	0,53	18,75
6,60	8	16	8	0,53	15,00
6,80	12	20	12	0,53	22,50
7,00	16	24	16	0,53	30,00
7,20	10	20	10	0,67	15,00
7,40	10	16	10	0,40	25,00
7,60	10	16	10	0,40	25,00
7,80	8	16	8	0,53	15,00
8,00	12	18	12	0,40	30,00
8,20	20	30	20	0,67	30,00
8,40	32	40	32	0,53	60,00
8,60	20	28	20	0,53	37,50
8,80	22	36	22	0,93	23,57
9,00	24	38	24	0,93	25,71
9,20	32	40	32	0,53	60,00
9,40	16	24	16	0,53	30,00
9,60	16	20	16	0,27	60,00
9,80	18	28	18	0,67	27,00
10,00	10	16	10	0,40	25,00
10,20	8	12	8	0,27	30,00
10,40	8	12	8	0,27	30,00
10,60	10	16	10	0,40	25,00
10,80	12	20	12	0,53	22,50
11,00	12	22	12	0,67	18,00
11,20	12	24	12	0,80	15,00
11,40	14	24	14	0,67	21,00
11,60	12	24	12	0,80	15,00
11,80	14	24	14	0,67	21,00
12,00	14	28	14	0,93	15,00
12,20	12	24	12	0,80	15,00
12,40	14	28	14	0,93	15,00
12,60	16	28	16	0,80	20,00
12,80	16	28	16	0,80	20,00
13,00	20	32	20	0,80	25,00
13,20	20	36	20	1,07	18,75
13,40	20	38	20	1,20	16,67
13,60	24	44	24	1,33	18,00
13,80	24	44	24	1,33	18,00
14,00	16	32	16	1,07	15,00
14,20	16	30	16	0,93	17,14
14,40	20	36	20	1,07	18,75
14,60	20	38	20	1,20	16,67
14,80	22	42	22	1,33	16,50
15,00	28	52	28	1,60	17,50

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	20	44	20	1,60	12,50
15,40	18	36	18	1,20	15,00
15,60	18	36	18	1,20	15,00
15,80	16	32	16	1,07	15,00
16,00	20	36	20	1,07	18,75
16,20	16	28	16	0,80	20,00
16,40	16	32	16	1,07	15,00
16,60	24	40	24	1,07	22,50
16,80	24	40	24	1,07	22,50
17,00	26	48	26	1,47	17,73
17,20	24	40	24	1,07	22,50
17,40	22	44	22	1,47	15,00
17,60	24	44	24	1,33	18,00
17,80	24	46	24	1,47	16,36
18,00	22	44	22	1,47	15,00
18,20	20	42	20	1,47	13,64
18,40	20	38	20	1,20	16,67
18,60	16	30	16	0,93	17,14
18,80	28	44	28	1,07	26,25
19,00	60	68	60	0,53	112,50
19,20	64	70	64	0,40	160,00
19,40	18	32	18	0,93	19,29
19,60	16	32	16	1,07	15,00
19,80	16	28	16	0,80	20,00
20,00	14	26	14	0,80	17,50
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

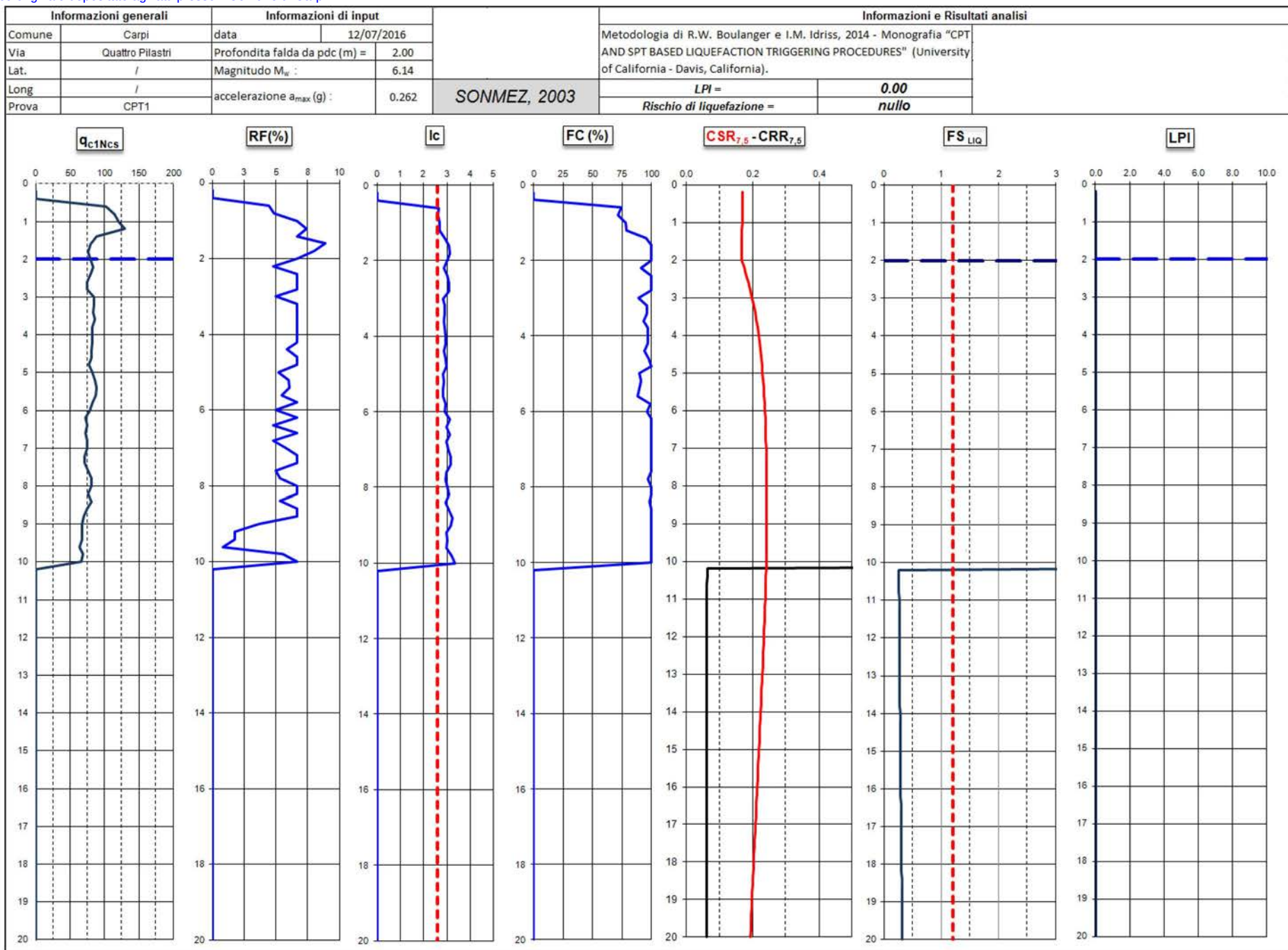
ALL. 2: SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

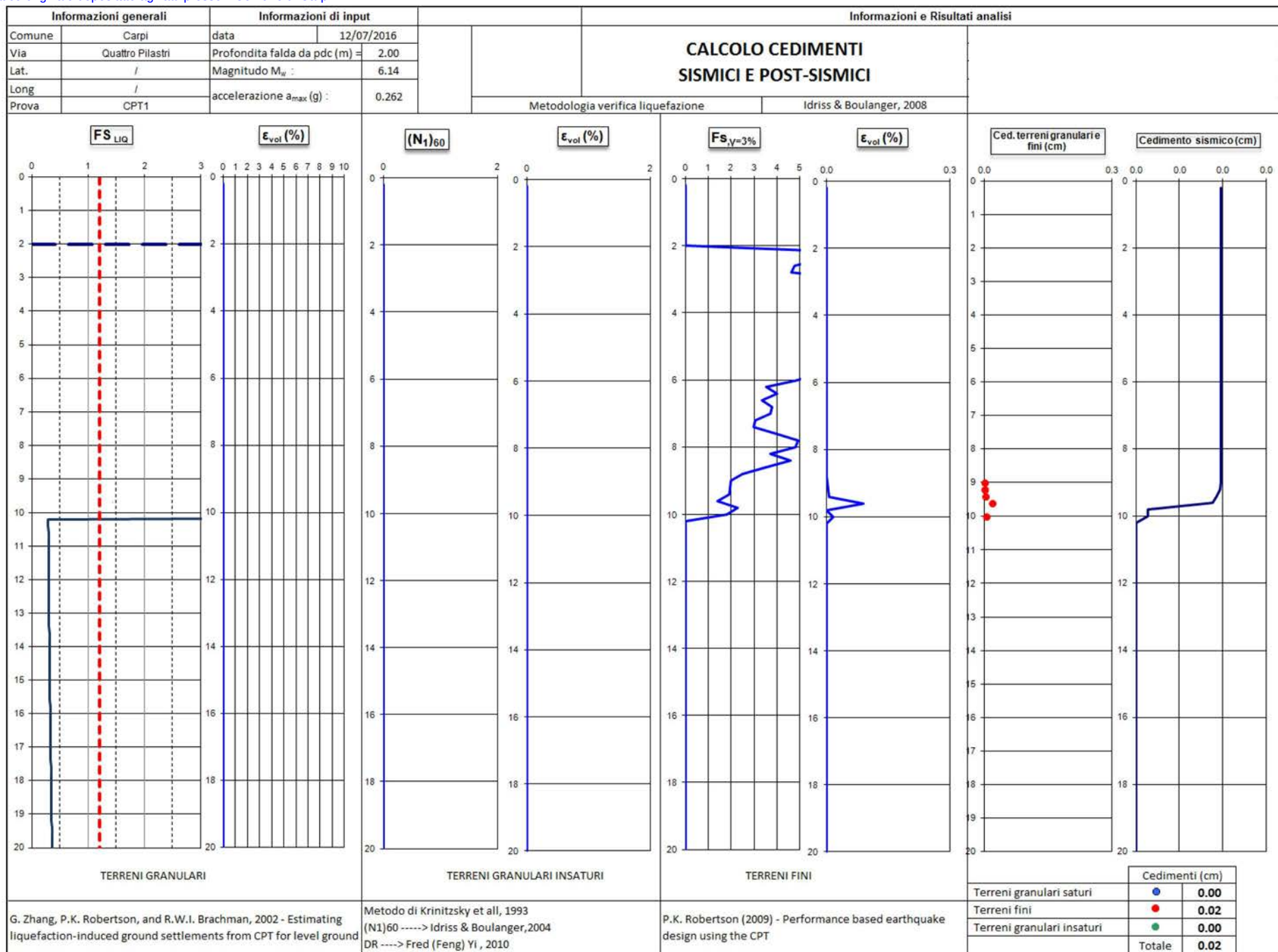
Prova :	CPT1	Comune	Carpi
Via	Quattro Pilastri	Data	12/07/2016

A_{max}/g	0.262	Profondità falda (m)	2.00
Magnitudo	6.14	Profondità calcolo (m)	10



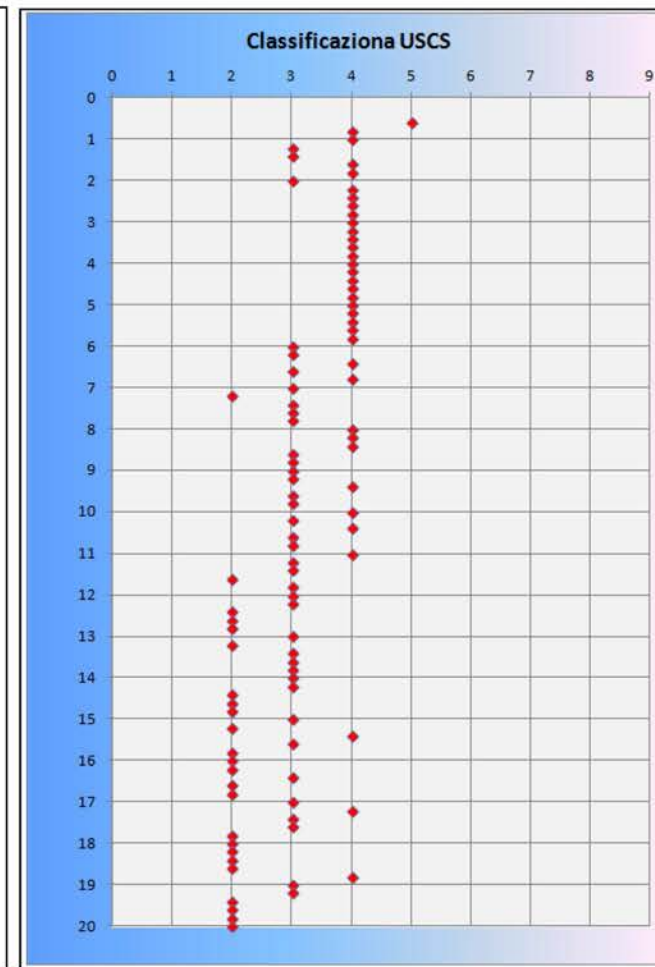
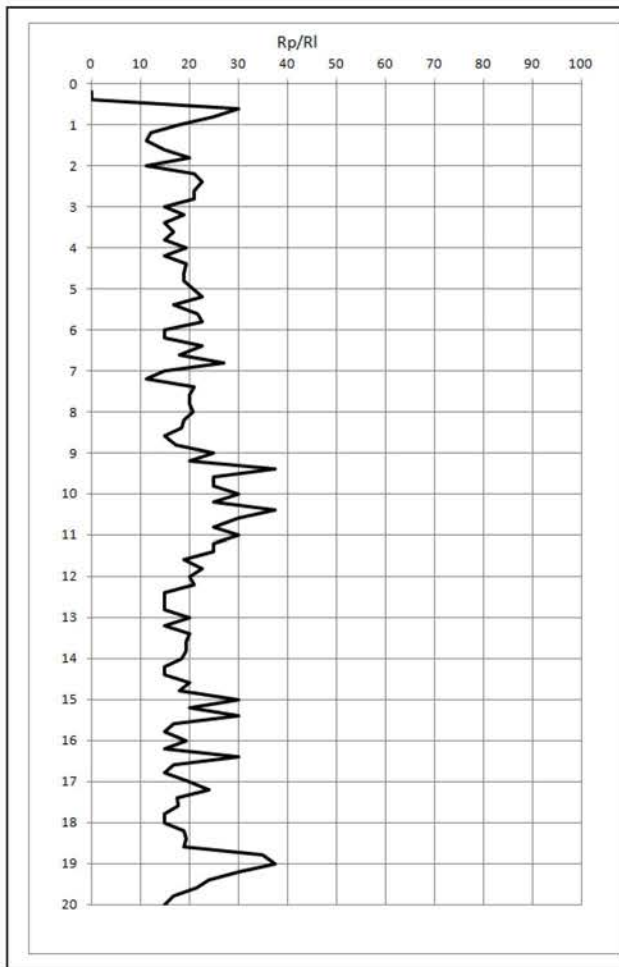
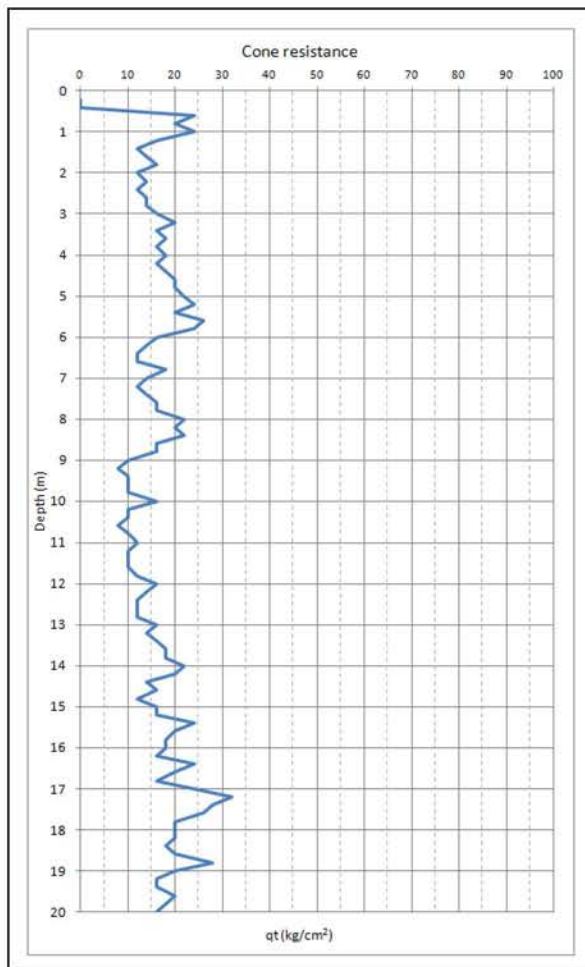
Caratterizzazione litologica : 1 - Organic soil:peats / 2 - Clay / 3 - Silty clay / 4 - Clayey silt to silt clay / 5 - Sandy silt / 6 - Silty Sand
 7 - Sand with silt / 8 - Clean Sand / 9 - Gravelly sand to dense sand



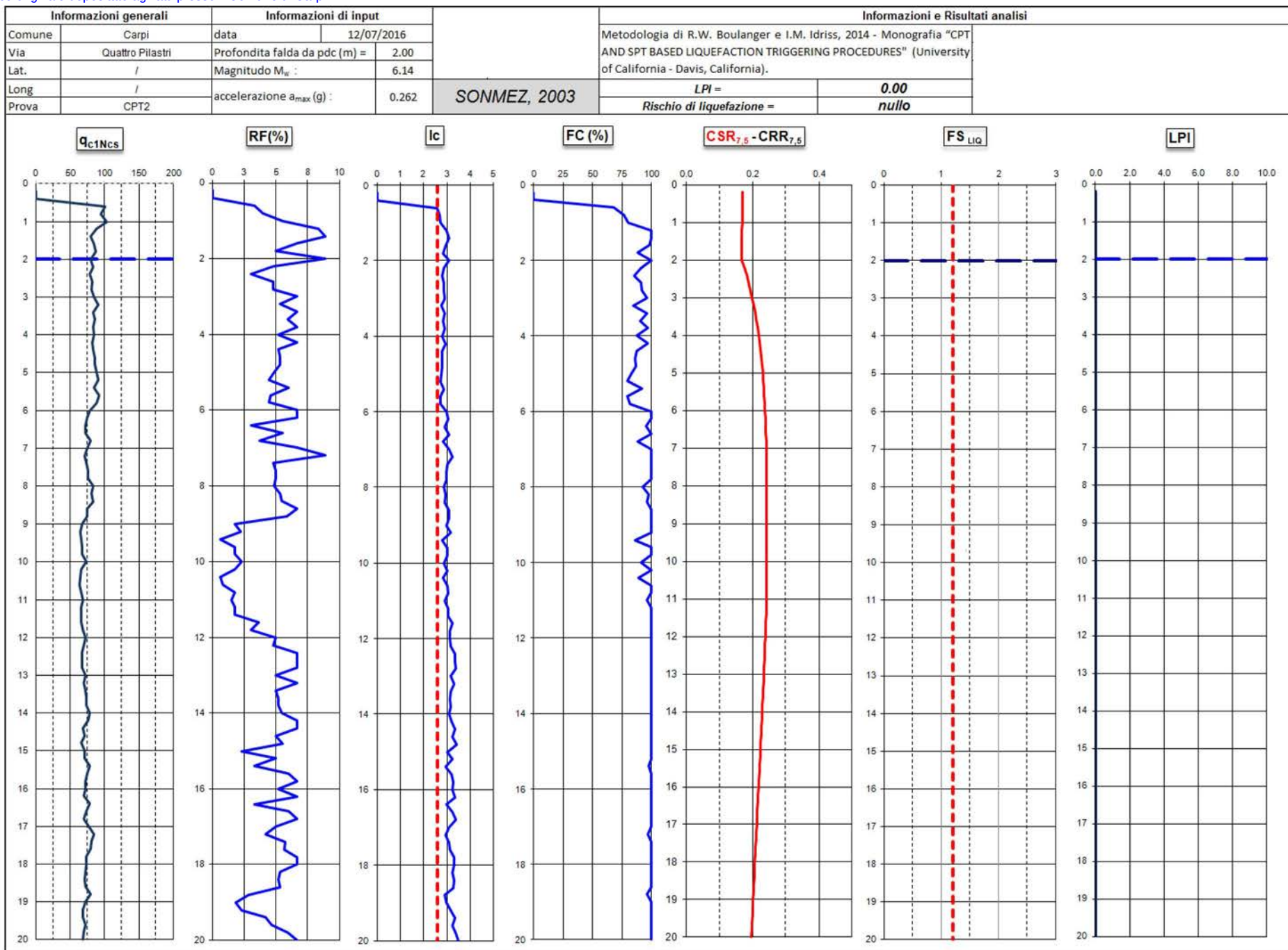


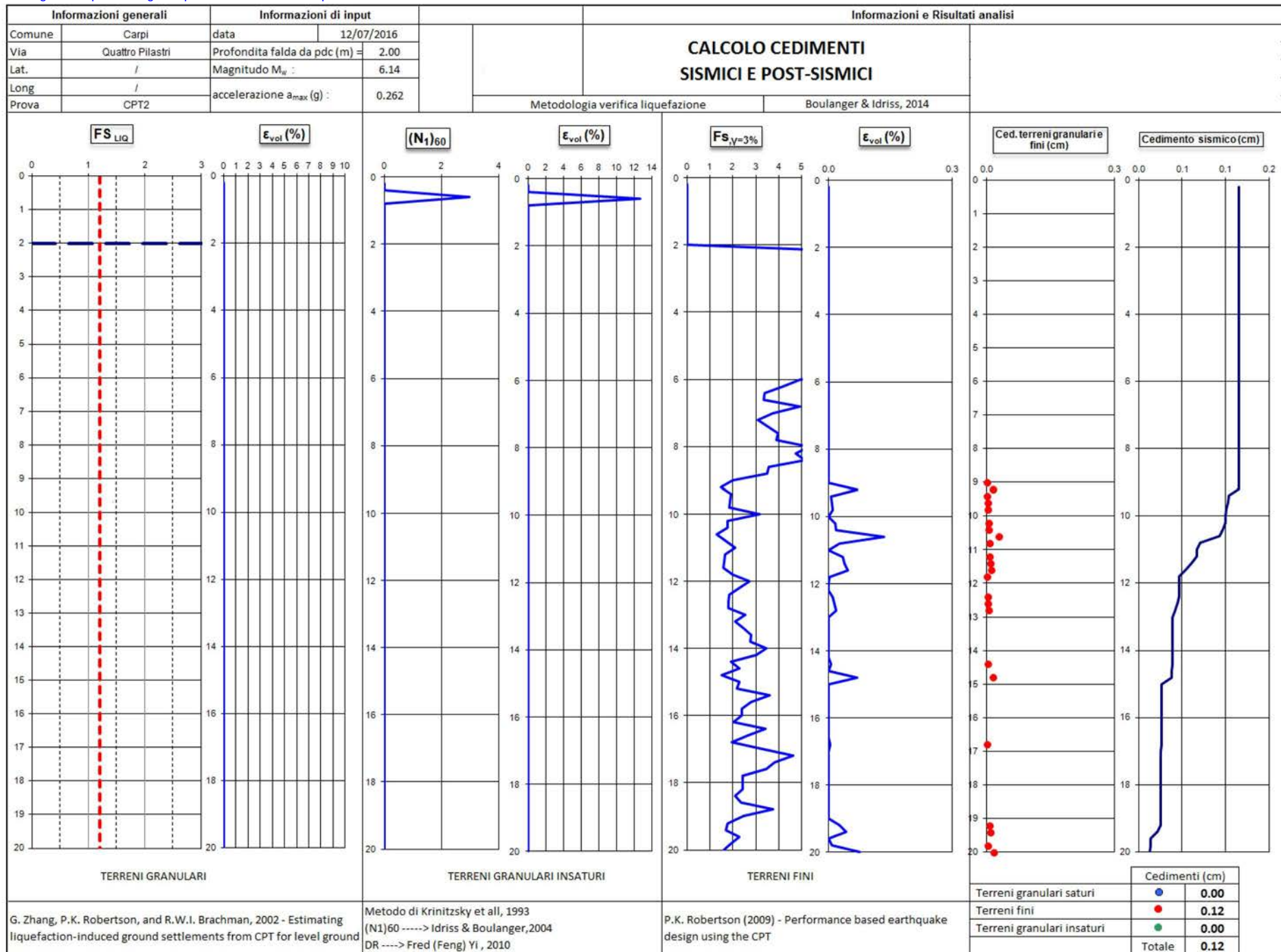
Prova :	CPT2	Comune	Carpi
Via	Quattro Pilastri	Data	12/07/2016

A_{max}/g	0.262	Profondità falda (m)	2.00
Magnitudo	6.14	Profondità calcolo (m)	20



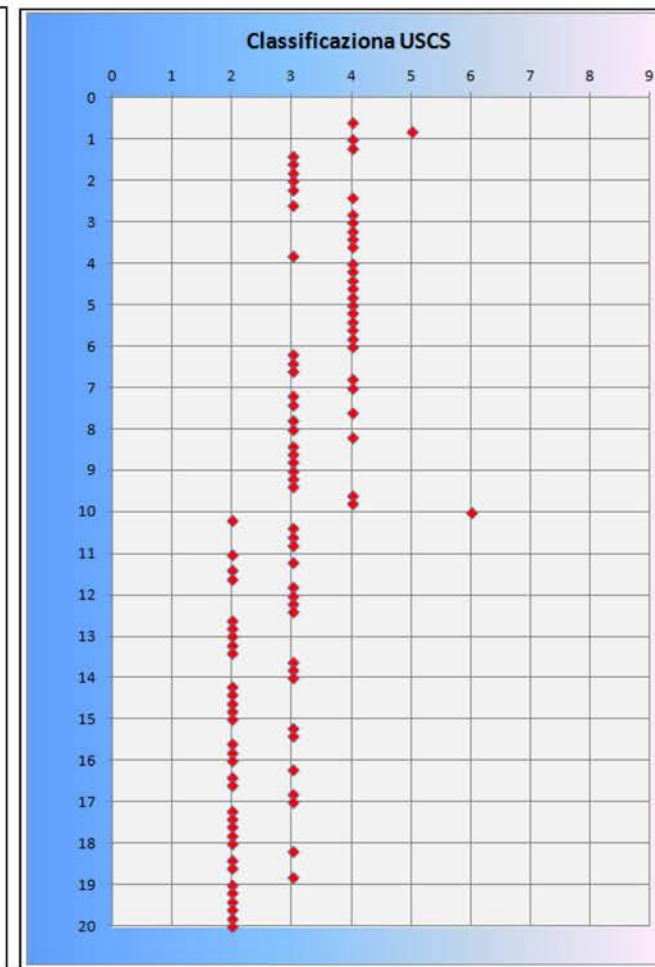
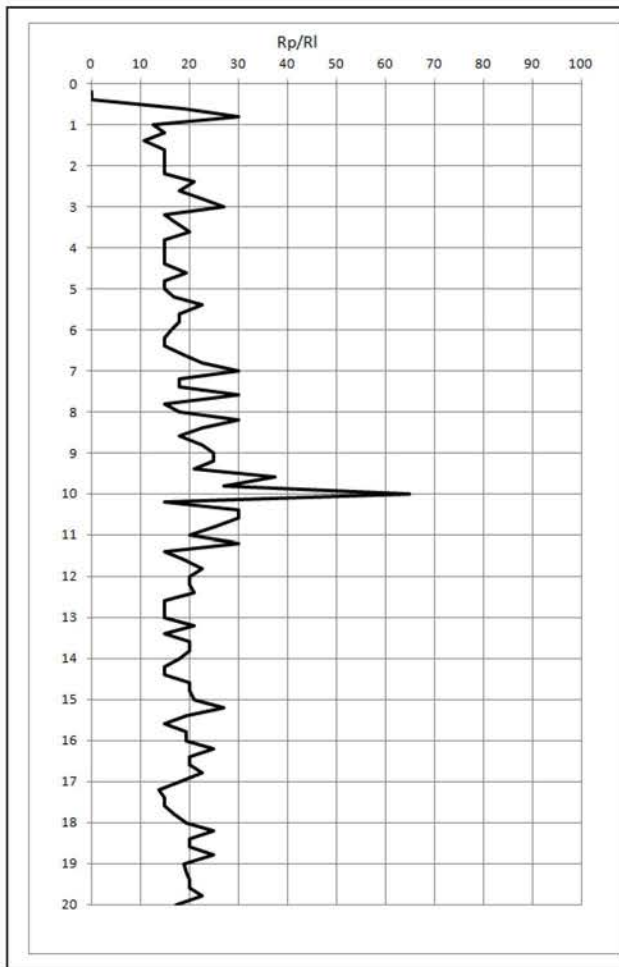
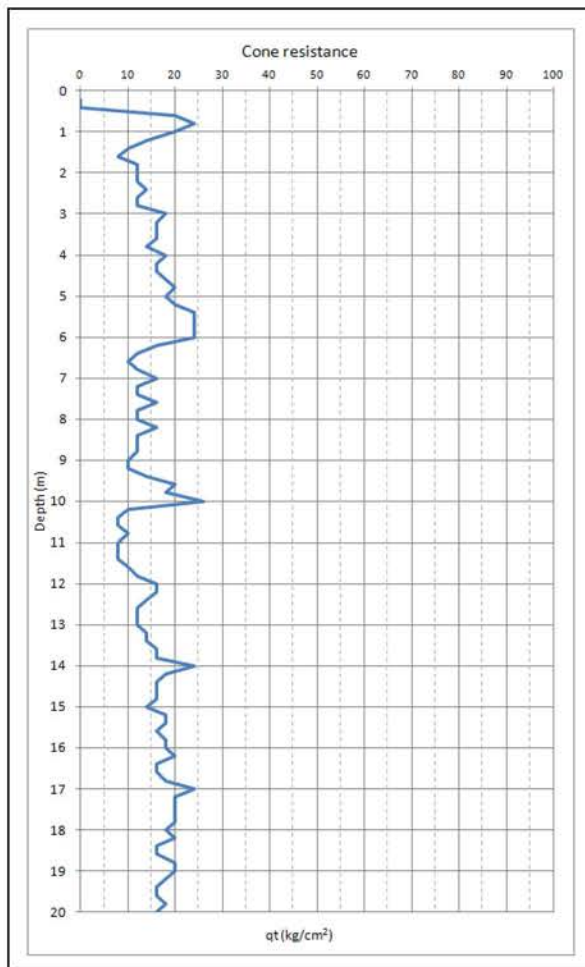
Caratterizzazione litologica : 1 - Organic soil:peats / 2 - Clay / 3 - Silty clay / 4 - Clayey silt to silt clay / 5 - Sandy silt / 6 - Silty Sand
 7 - Sand with silt / 8 - Clean Sand / 9 - Gravelly sand to dense sand



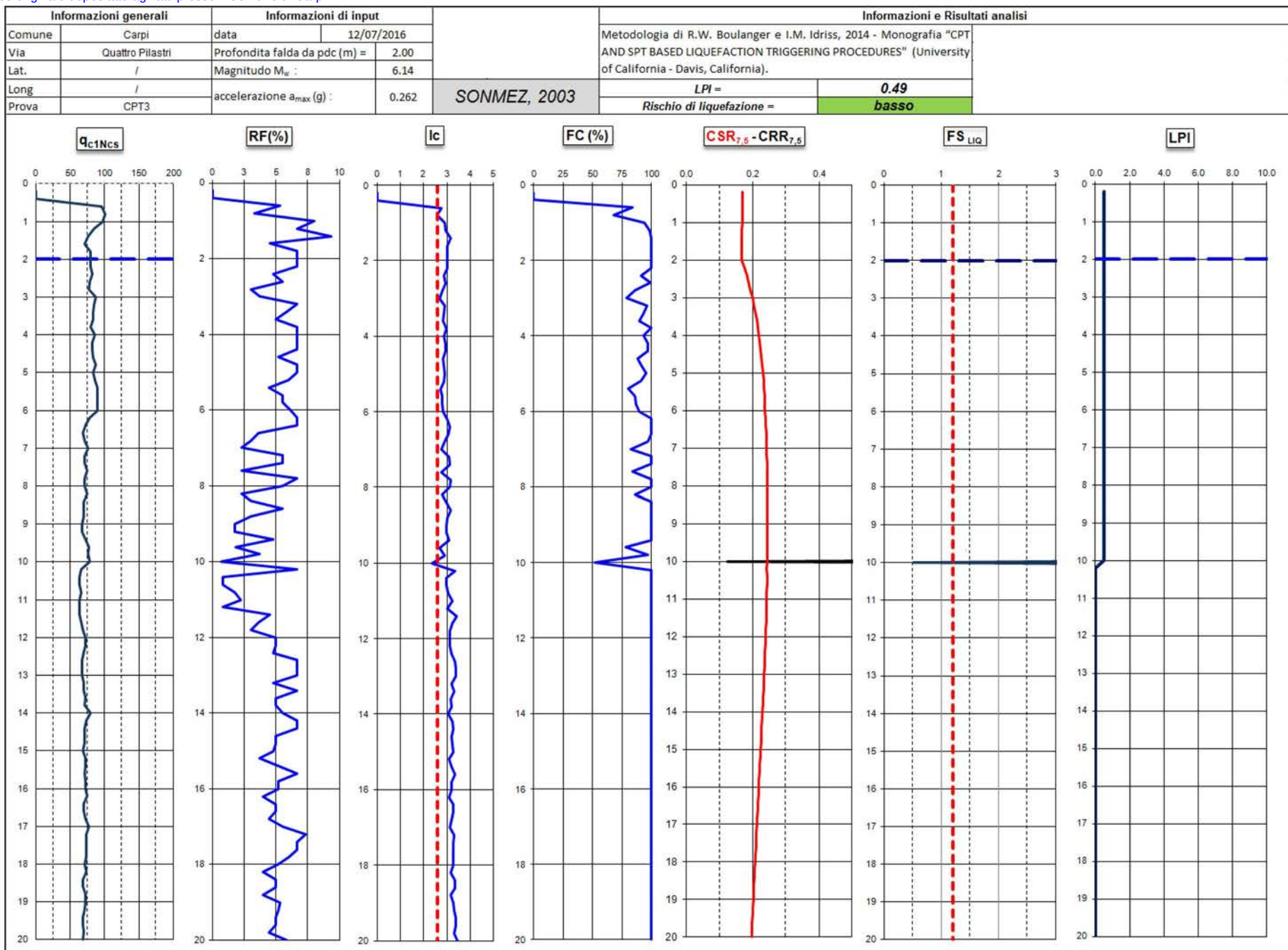


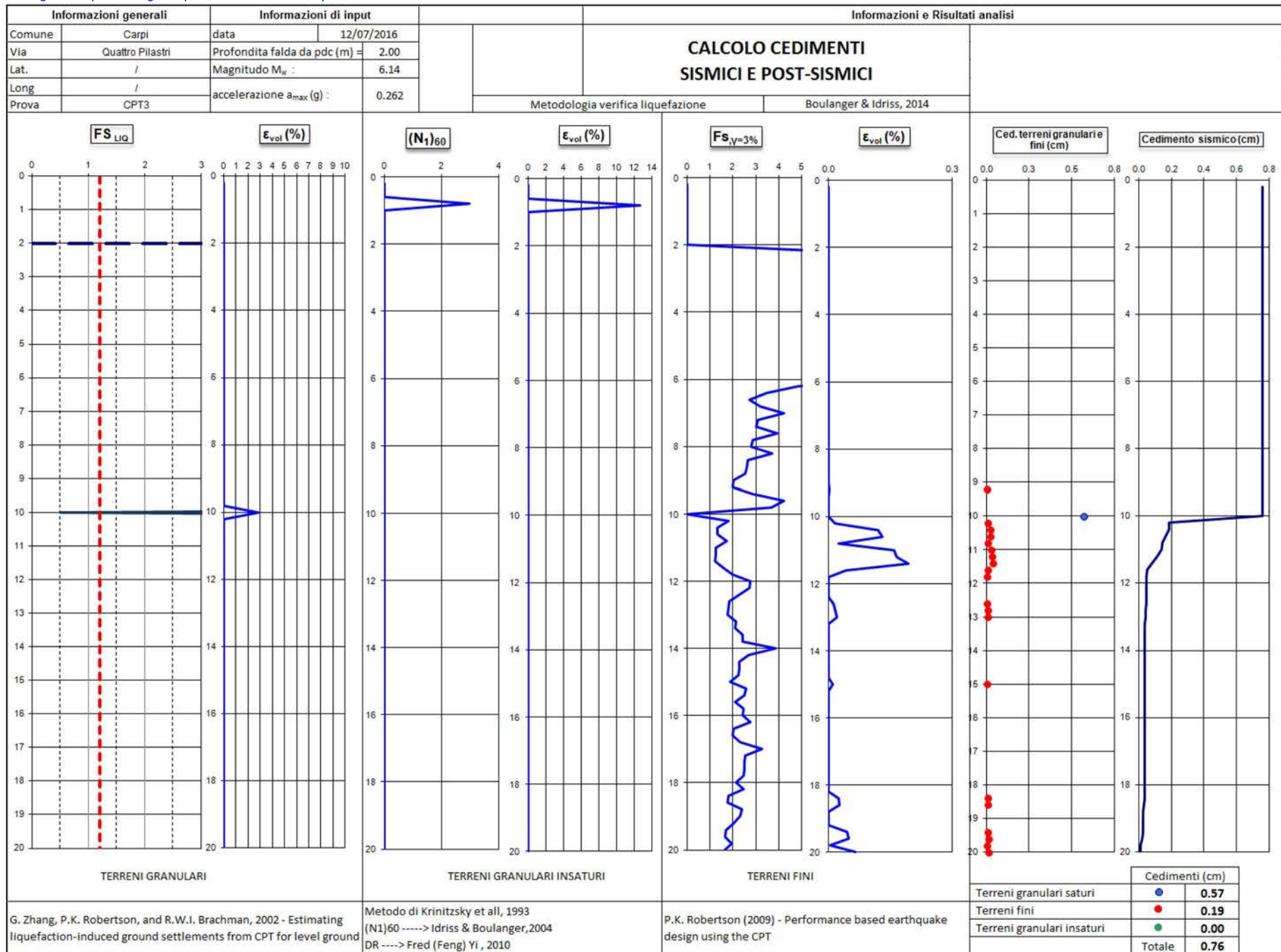
Prova :	CPT3	Comune	Carpi
Via	Quattro Pilastri	Data	12/07/2016

A_{max}/g	0.262	Profondità falda (m)	2.00
Magnitudo	6.14	Profondità calcolo (m)	20



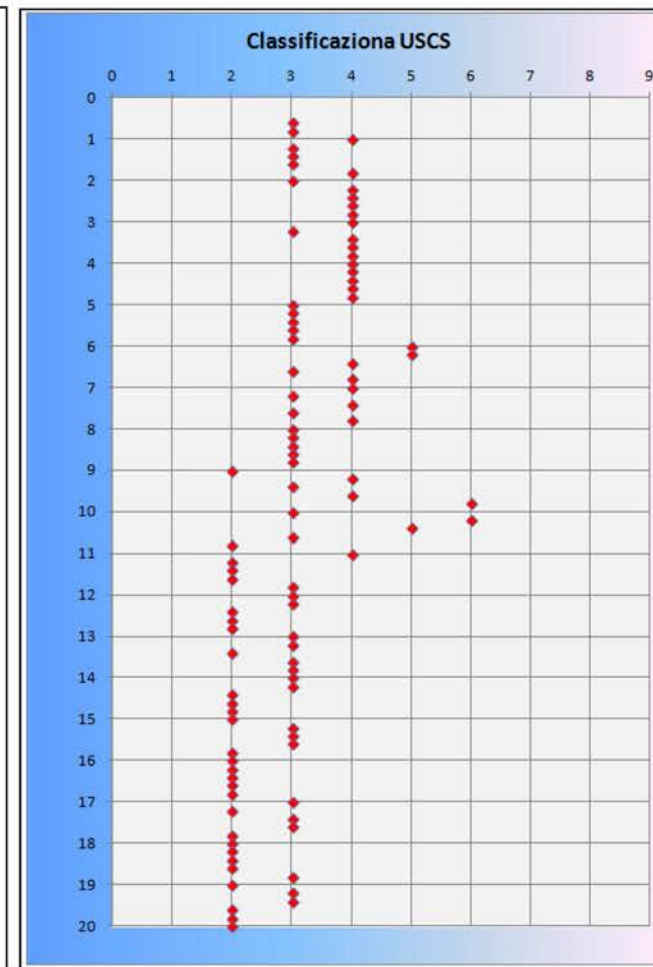
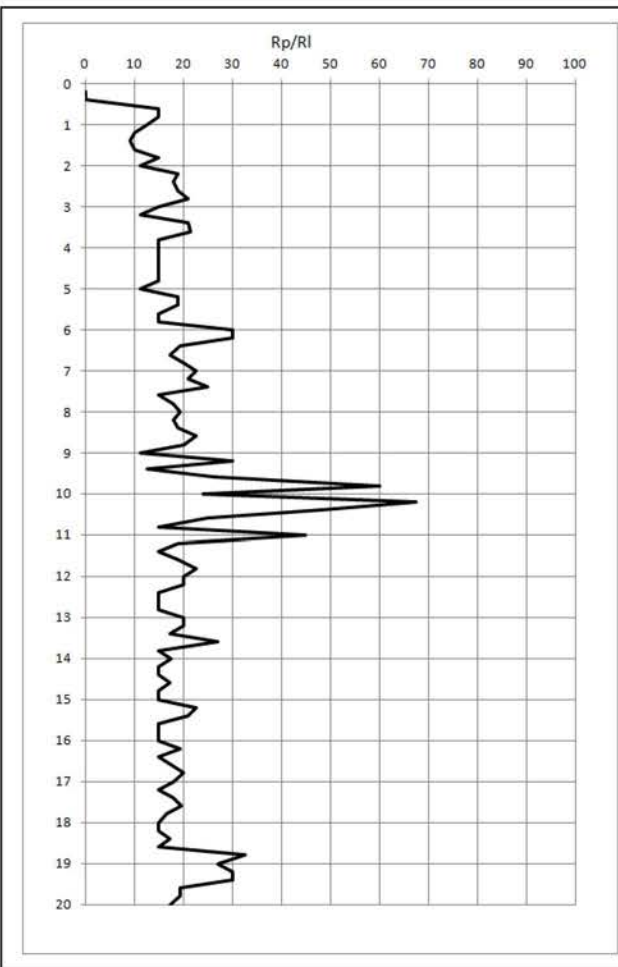
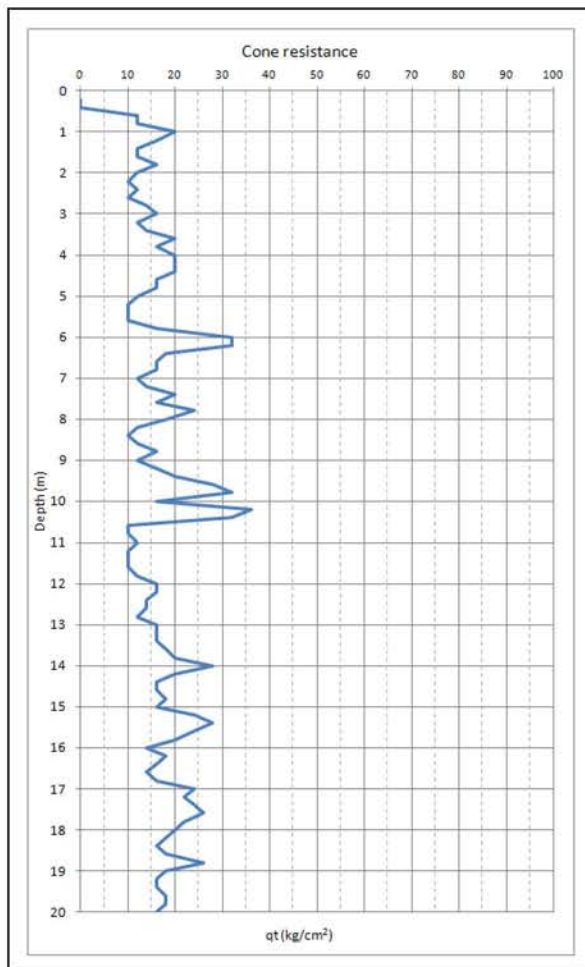
Caratterizzazione litologica : 1 - Organic soil:peats / 2 - Clay / 3 - Silty clay / 4 - Clayey silt to silt clay / 5 - Sandy silt / 6 - Silty Sand
 7 - Sand with silt / 8 - Clean Sand / 9 - Gravelly sand to dense sand



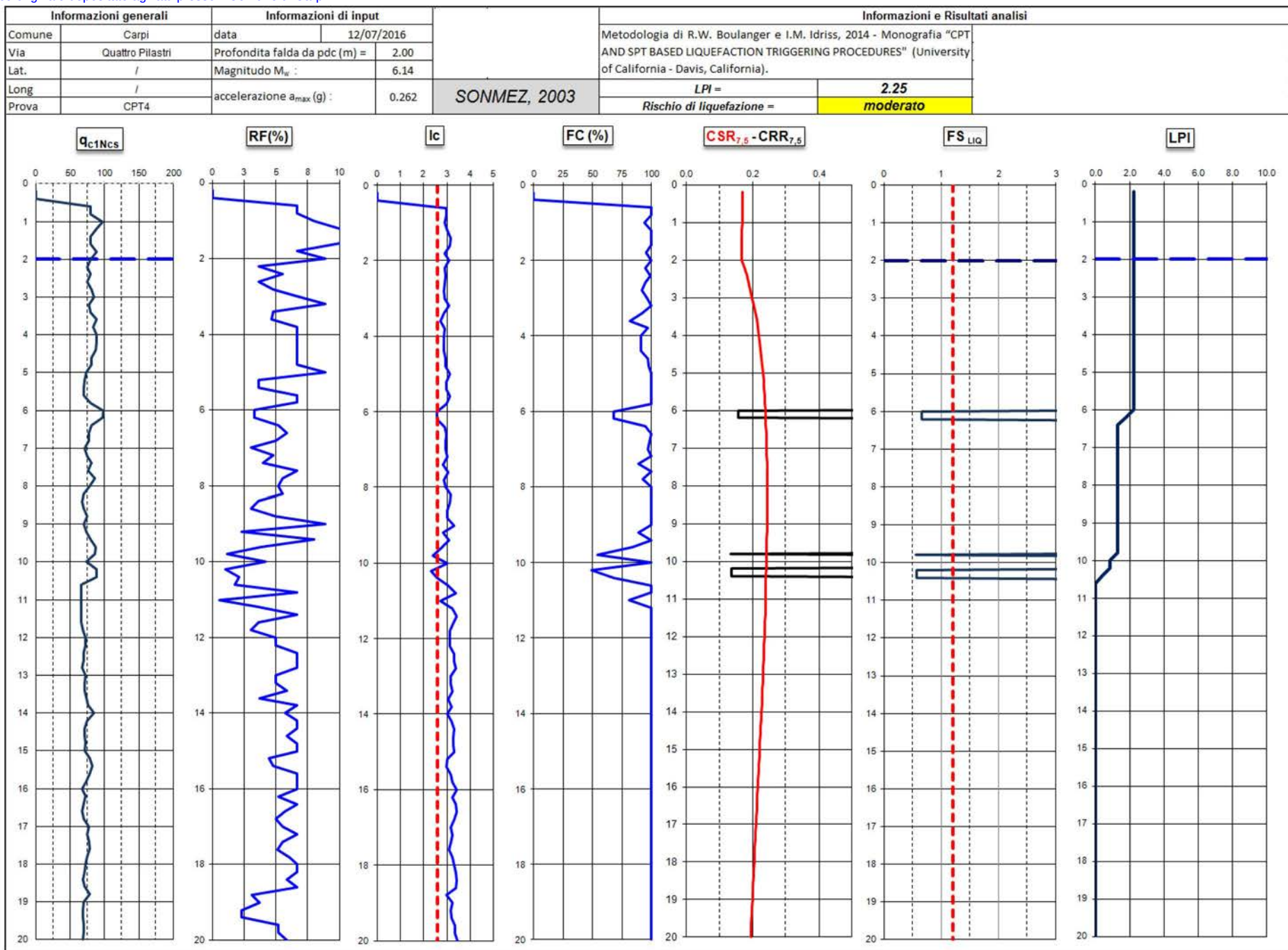


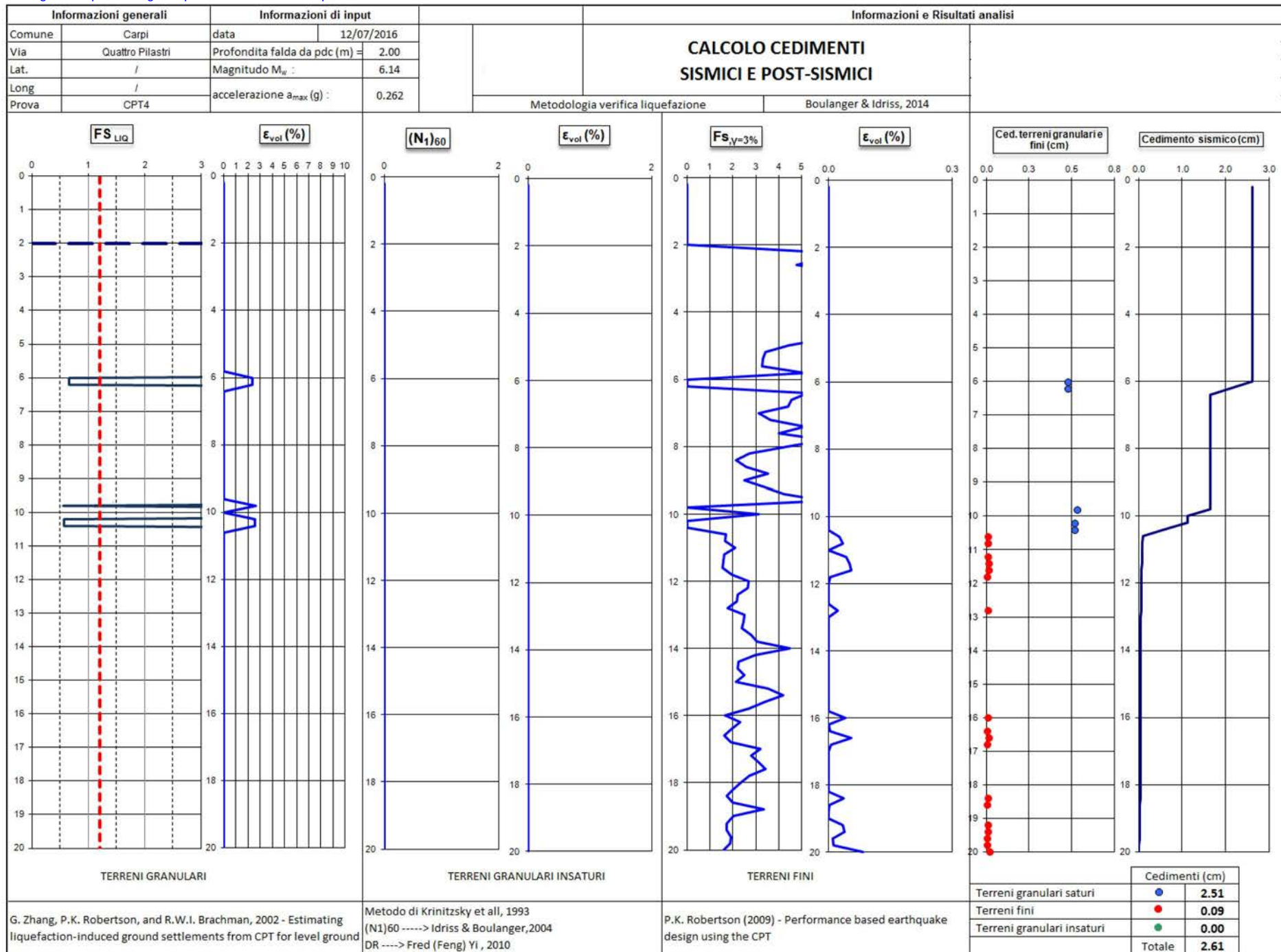
Prova :	CPT4	Comune	Carpi
Via	Quattro Pilastri	Data	12/07/2016

A_{max}/g	0.262	Profondità falda (m)	2.00
Magnitudo	6.14	Profondità calcolo (m)	20



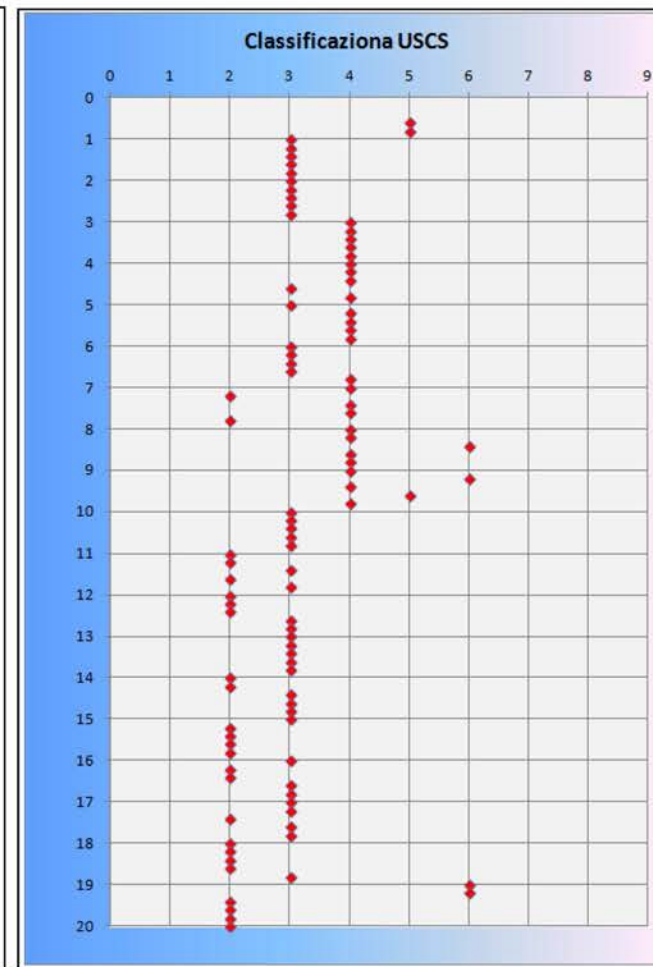
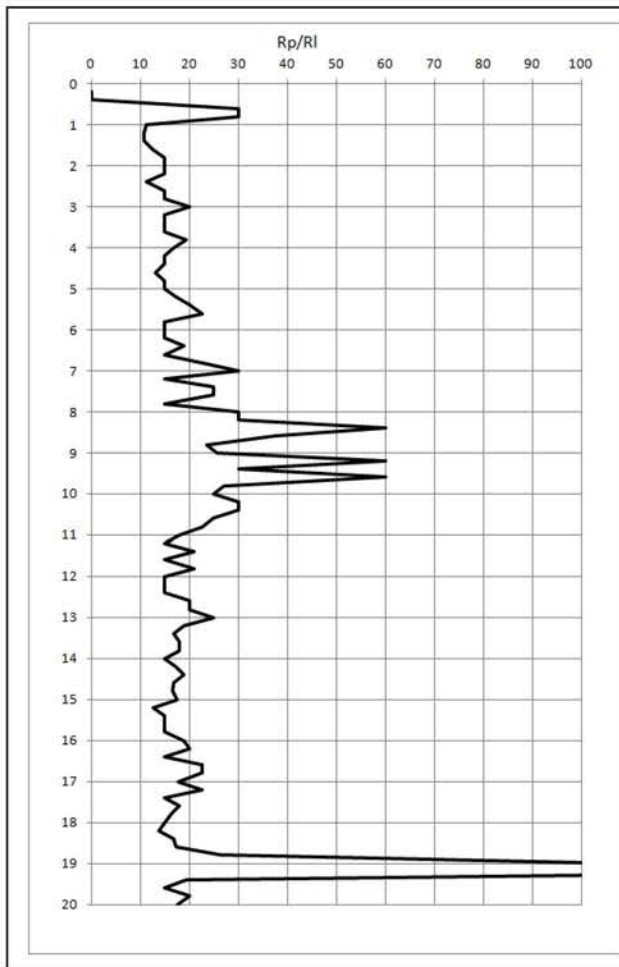
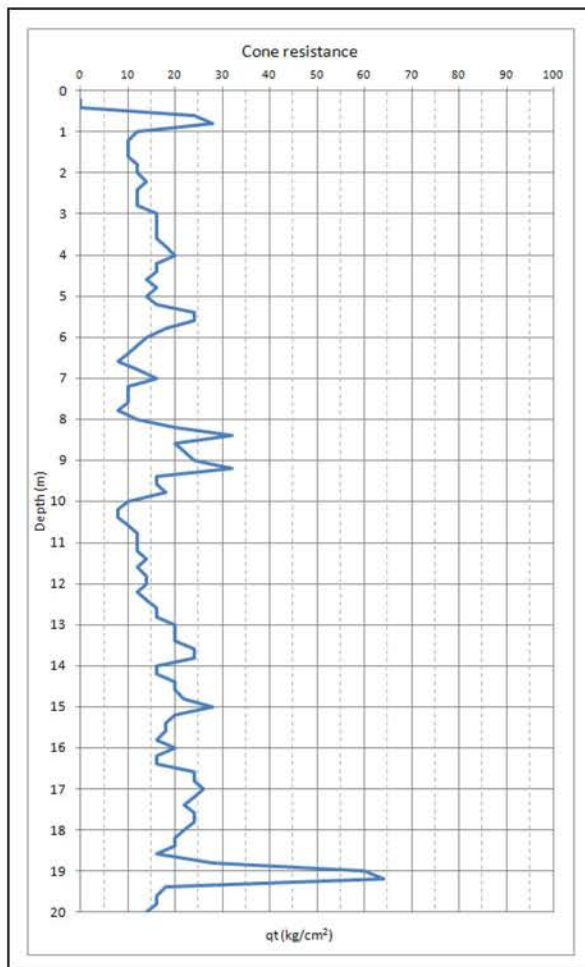
Caratterizzazione litologica : 1 - Organic soil:peats / 2 - Clay / 3 - Silty clay / 4 - Clayey silt to silt clay / 5 - Sandy silt / 6 - Silty Sand
 7 - Sand with silt / 8 - Clean Sand / 9 - Gravelly sand to dense sand



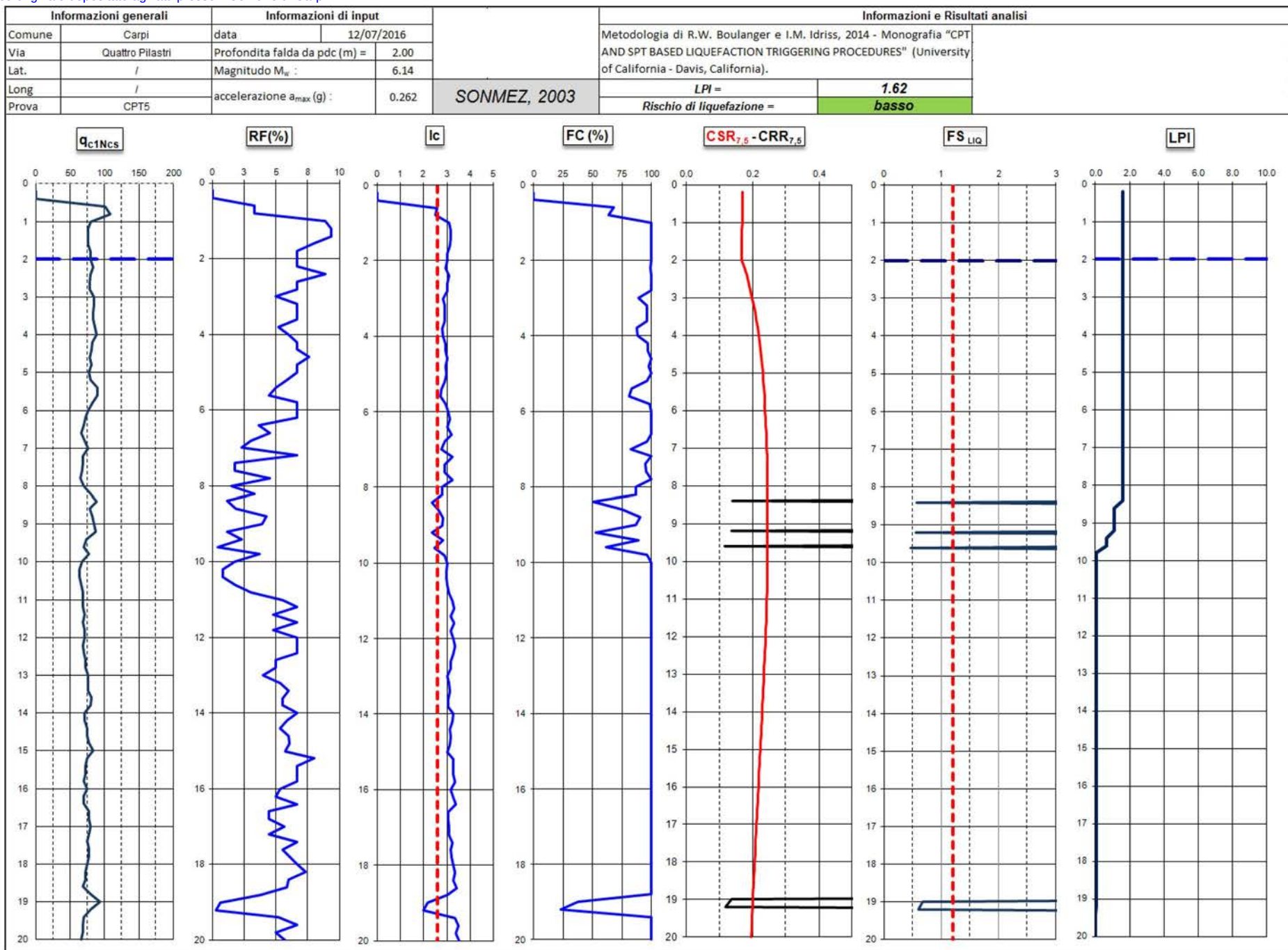


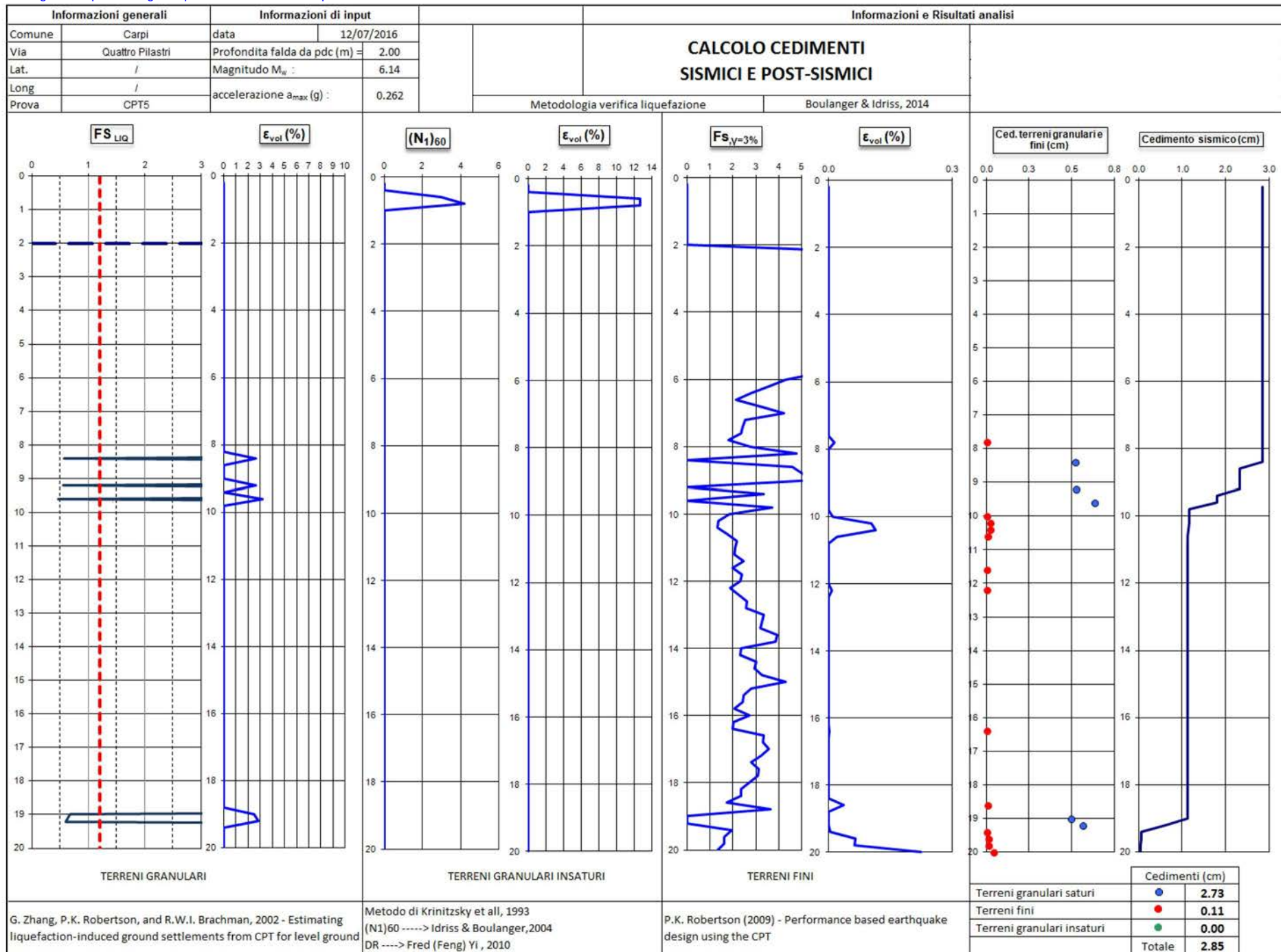
Prova :	CPT5	Comune	Carpi
Via	Quattro Pilastri	Data	12/07/2016

A_{max}/g	0.262	Profondità falda (m)	2.00
Magnitudo	6.14	Profondità calcolo (m)	20



Caratterizzazione litologica : 1 - Organic soil:peats / 2 - Clay / 3 - Silty clay / 4 - Clayey silt to silt clay / 5 - Sandy silt / 6 - Silty Sand
 7 - Sand with silt / 8 - Clean Sand / 9 - Gravelly sand to dense sand





Comune di Carpi - Protocollo n. 78816/2021 del 27/12/2021

Firmato digitalmente da: vaccari anna il 06/12/2021 18:57:59

Si attesta, ai sensi dell'art. 23 del Decreto Legislativo 7 marzo 2005, n. 82, che la presente copia analogica è conforme in tutte le sue componenti al documento informatico originale depositato agli atti presso il Comune di Carpi.

ALL. 3: REPORT DI INDAGINE GEOFISICA



Sede Legale: Via di Mezzo, 90 – 41058 VIGNOLA (MO) – ITALY
Telefono +39 059 761644 - **Telefax** +39 059 779111
Web www.geo-xpert.com ---- **Email** info@geo-xpert.com
PARTITA I.V.A.: 02740680364 – **COD. FISCALE:** 02740680364 - **C.C.I.A.A.:** MO 326926

COMMITTENZA

Dott. Geol. Anna Vaccari
Piazza Matteotti, 13
41121 MODENA

TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO

RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE PER LA DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DEI TERRENI DI FONDAZIONE AI SENSI DEL DM 14/01/2008


OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA SISMICO A RIFRAZIONE (METODO MASW)

LOCALIZZAZIONE

ITALIA
REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI CARPI
VIA QUATTRO PILASTRI

CODIFICA GENERALE ELABORATO

CODICE INTERNO	CODE	SETTORE DI ATTIVITA'	AREA DI PROGETTAZIONE	TIPO DOCUMENTO	N. ELABORATO
3749		C	A	REL	1

VERSIONE	DATA	OGGETTO
0	13/07/2016	1° EMISSIONE

DATI PROGETTISTA

Dott. Geol. Giorgio Masotti
Via di Mezzo, 90
41058 Vignola (MO) – Italy



PROPRIETA'

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3	NORMATIVA D.M. 14/01/2008	4
4	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE	5
5	ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VS – METODO M.A.S.W.....	7
6	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008).....	11

INDICE DEGLI ALLEGATI

FIGURA 1: ESTRATTO DI CARTA TOPOGRAFICA R.E.R. N. 183 SE "NOVI DI MODENA" - SCALA 1:25.000	3
FIGURA 2: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183150 BUDRIONE" - SCALA 1:10.000	3
FIGURA 3: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183152 "FOSSOLI" - SCALA 1:5.000	4
FIGURA 4: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE	6
FIGURA 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	6
FIGURA 6: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE	8
FIGURA 7: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE.....	8
FIGURA 8: TABELLA RIPIANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE.....	9
FIGURA 9: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE	9
FIGURA 10: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE.....	9
FIGURA 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO	10
FIGURA 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISADATTAMENTO	10
FIGURA 13: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO	11
FIGURA 14: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'.....	11

---/---

1 PREMESSA

Su incarico della **Dott. Geol. Anna Vaccari** con sede legale a Modena – Piazza G. Matteotti 13, il sottoscritto

- **Dott. Giorgio Masotti**, Geologo libero professionista, regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il numero 588 – Sez. A, in qualità di consulente tecnico della ditta **Geo-Xpert Italia** – Servizi – Tecnologie e Ambiente snc, con sede in Vignola (MO) – Via di Mezzo, 90,

ha provveduto alla stesura della presente relazione, finalizzata all'elaborazione delle indagini geofisiche effettuate con il metodo sismico a rifrazione ai fini della determinazione della caratterizzazione sismica del terreno di fondazione ai sensi del testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008).

L'area interessata dall'indagine geofisica è ubicata nel centro abitato di **Carpi (MO)**, in **Via Quattro Pilastri**.

Allo scopo di determinare le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni presenti, è stata condotta un'indagine diretta in sito, di tipo sismico a rifrazione, eseguita in data **12/07/2016**, con determinazione sperimentale mediante inversione (Metodo MASW) del valore di $V_{s,30}$.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Geograficamente l'area in esame risulta compresa all'interno della seguente documentazione cartografica:

Cartografia Regionale

- **Carta Topografica n.183-SE denominata "NOVI DI MODENA" – scala 1:25.000**
- **Sezione n. 183150 denominata "BUDRIONE" – scala 1:10.000**
- **Elemento n. 183152 denominata "FOSSOLI" – scala 1:5.000**

Figura 1: ESTRATTO DI CARTA TOPOGRAFICA R.E.R. N. 183 SE "NOVI DI MODENA" - SCALA 1:25.000

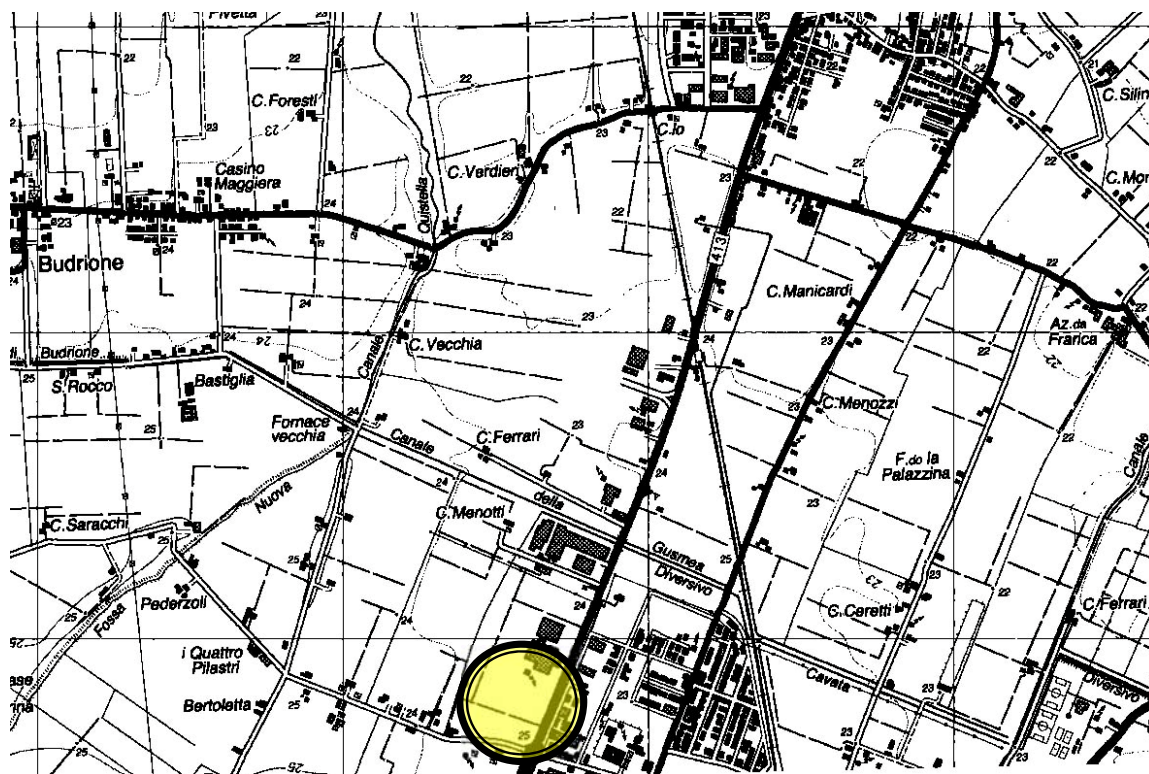


Figura 2: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183150 BUDRIONE" - SCALA 1:10.000



Figura 3: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183152 "FOSSOLI" - SCALA 1:5.000



3 NORMATIVA D.M. 14/01/2008

Il D.M. 14.01.2008 prevede una classificazione dei terreni in base alla loro condizione topografica che deve essere considerata nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il D.M. del 14.01.2008 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera V_N per il coefficiente d'uso C_U , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa. La presente normativa stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. Gli stati limite di esercizio sono lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD), mentre gli stati limite ultimi sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Collasso (SLC).

Il D.M. 14.01.2008 stabilisce che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche del sito.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si essere effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$ entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia possibile, la classificazione può essere effettua in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [m/s]$$

la resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

la resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione:

$$C_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{C_{u,i}}}$$

dove h_i , $V_{s,i}$, $N_{SPT,i}$ e $C_{u,i}$ sono rispettivamente lo spessore, la velocità delle onde di taglio V_s , il numero di colpi N_{SPT} e la resistenza non drenata c_u nell' i -esimo strato compreso nei primi **30 m di profondità**.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

Tipo A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
Tipo B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
Tipo C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
Tipo D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
Tipo E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

La normativa prevede due categorie aggiuntive di sottosuolo per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno:

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30} < 100$ m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

4 INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere di progetto è stata eseguita in data **12/07/2016**, **nr. 1 base sismica** a rifrazione con sistema di acquisizione a 24 canali.

Si riporta di seguito l'elaborazione condotta e le caratteristiche dello stendimento sismico effettuato.

Figura 4: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE



Figura 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



5 ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – Vs – METODO M.A.S.W.

La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) è stata effettuata mediante elaborazione con il metodo MASW, allo scopo di determinare la categoria sismica del terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato dalla Nuova Normativa Sismica (Ordinanza P.C.M. 2003 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 e 8.

In base all'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente, non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è uno strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità (k) - frequenza (f) è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f - k è detta curva di dispersione sperimentale e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, viene tracciata una curva di dispersione teorica che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

In seguito, i parametri del modello geotecnico preliminare vengono modificati al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale. Questa fase, definita come processo di inversione, consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differente.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. Per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Le indagini MASW sono state eseguite disponendo sul terreno 24 sensori velocimetrici (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si sono generate artificialmente le energizzazioni in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo. Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata **1024 mS** e una frequenza di campionamento di **500 μ S**, per la quale si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata mediante mazza battente a **ml. 5,00** dal **geofono n. 1** in posizione di sparo **estremo SINISTRO** rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a **1,50 ml.**

N. tracce	24
Durata acquisizione [ms]	1024.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [ms]	0.50

Figura 6: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE

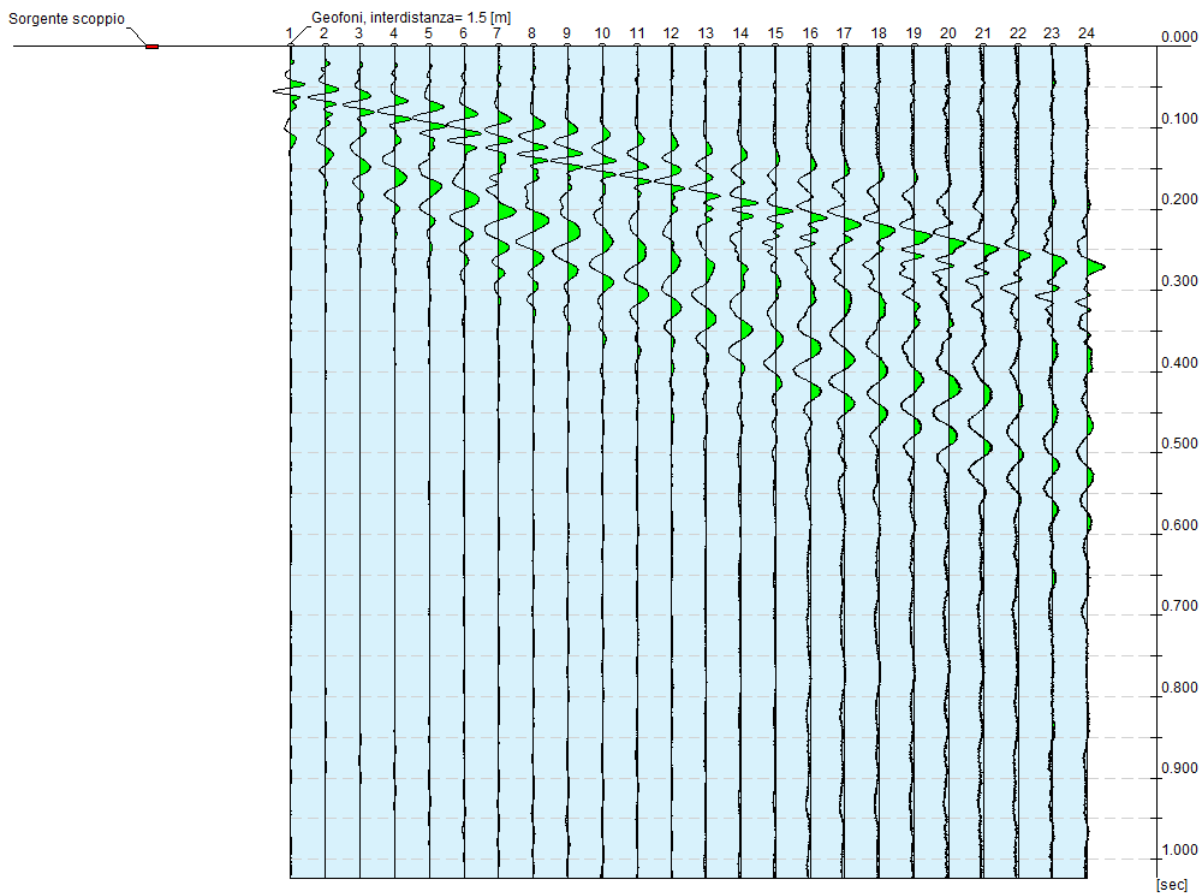


Figura 7: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

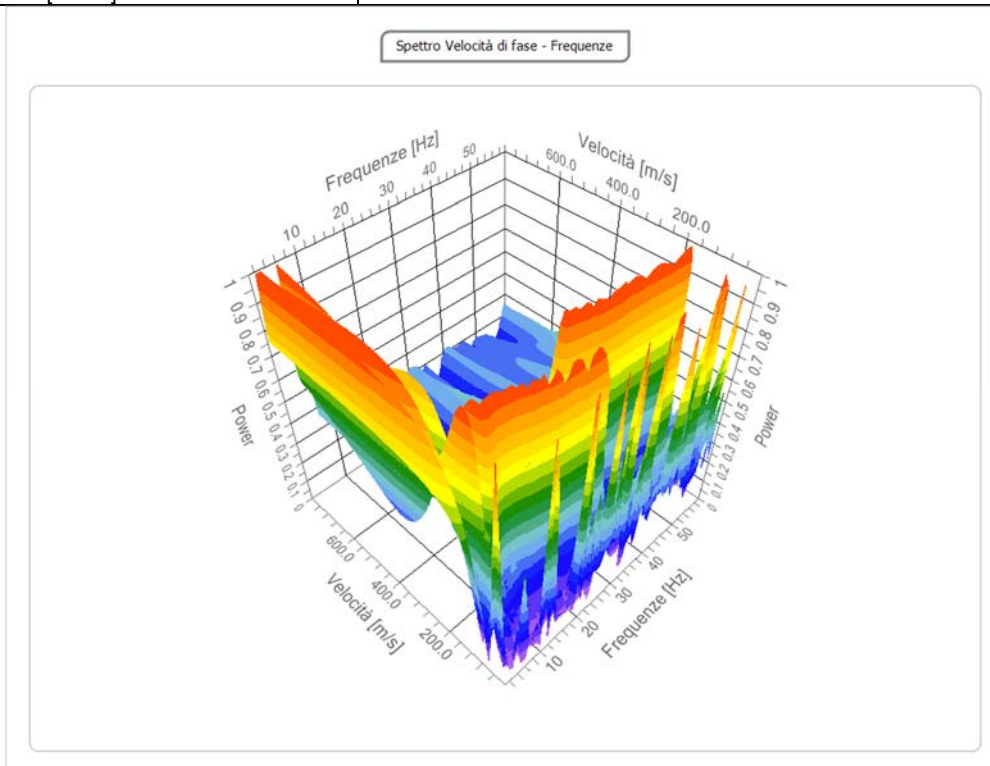


Figura 8: TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.7	184.8	0
2	7.7	161.8	0
3	9.3	151.9	0
4	11.3	145.4	0
5	13.7	137.2	0
6	16.2	127.3	0
7	18.8	117.5	0
8	21.1	110.9	0
9	24.1	106.0	0
10	27.2	96.2	0
11	29.6	91.2	0
12	30.8	229.1	4
13	31.6	91.2	0
14	33.2	215.9	4
15	36.3	207.7	4
16	38.1	202.8	4
17	40.9	196.2	4
18	43.9	194.6	4
19	46.5	191.3	4
20	48.8	189.7	4
21	52.3	184.8	4
22	55.2	184.8	4
23	57.7	179.8	4

Figura 9: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

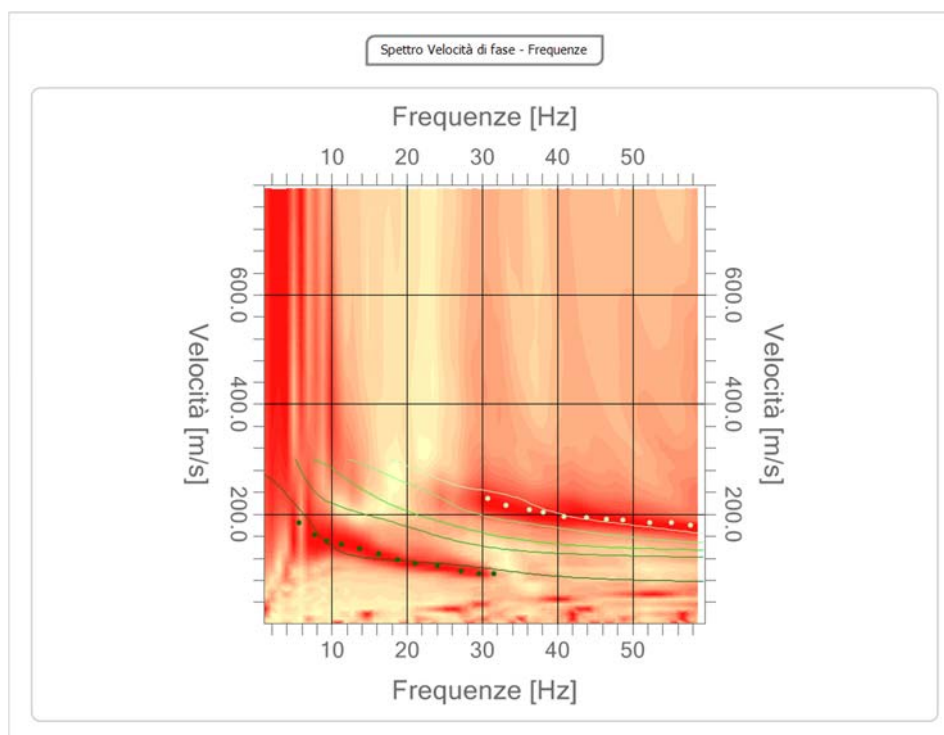


Figura 10: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1.99	1.99	1850.0	0.4	No	228.6	93.3
2	6.19	4.20	1810.0	0.5	Si	524.0	158.0
3	8.62	2.42	1820.0	0.4	Si	417.1	170.3
4	12.51	3.90	1830.0	0.3	Si	350.1	187.1
5	26.95	14.43	1840.0	0.5	Si	775.6	233.8
6	29.96	3.01	1850.0	0.4	Si	590.4	283.6
7	43.96	14.00	1860.0	0.4	Si	600.3	288.4
8	oo	oo	1880.0	0.4	Si	835.9	341.2

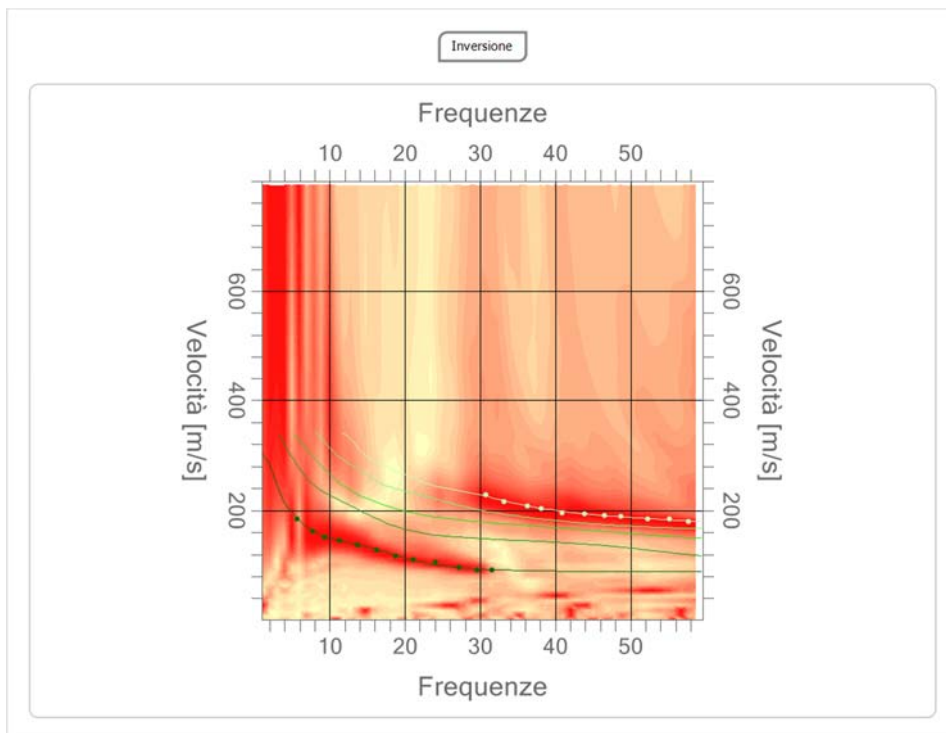


Figura 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

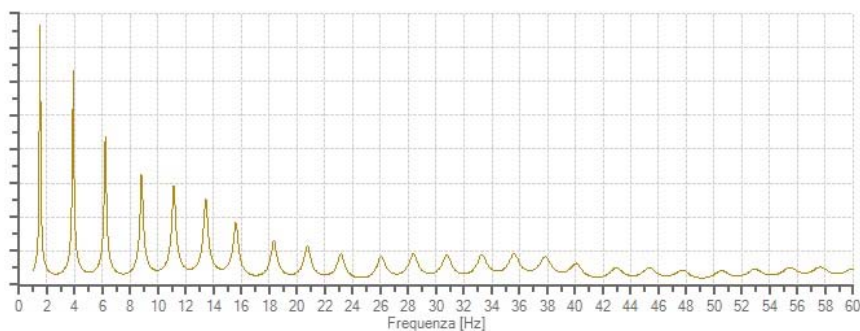
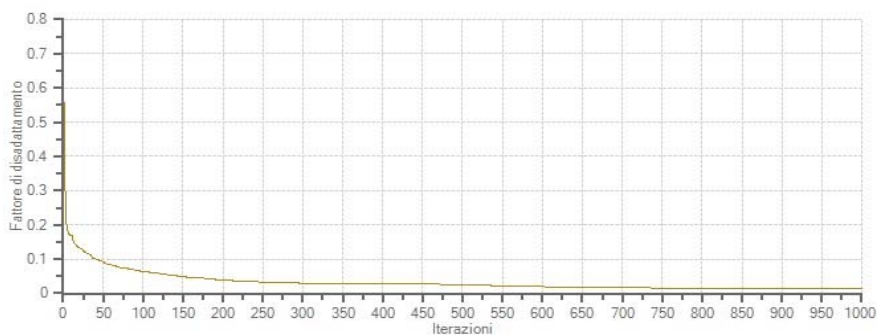


Figura 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISADATTAMENTO



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,011 %**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,014**.

Figura 13: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

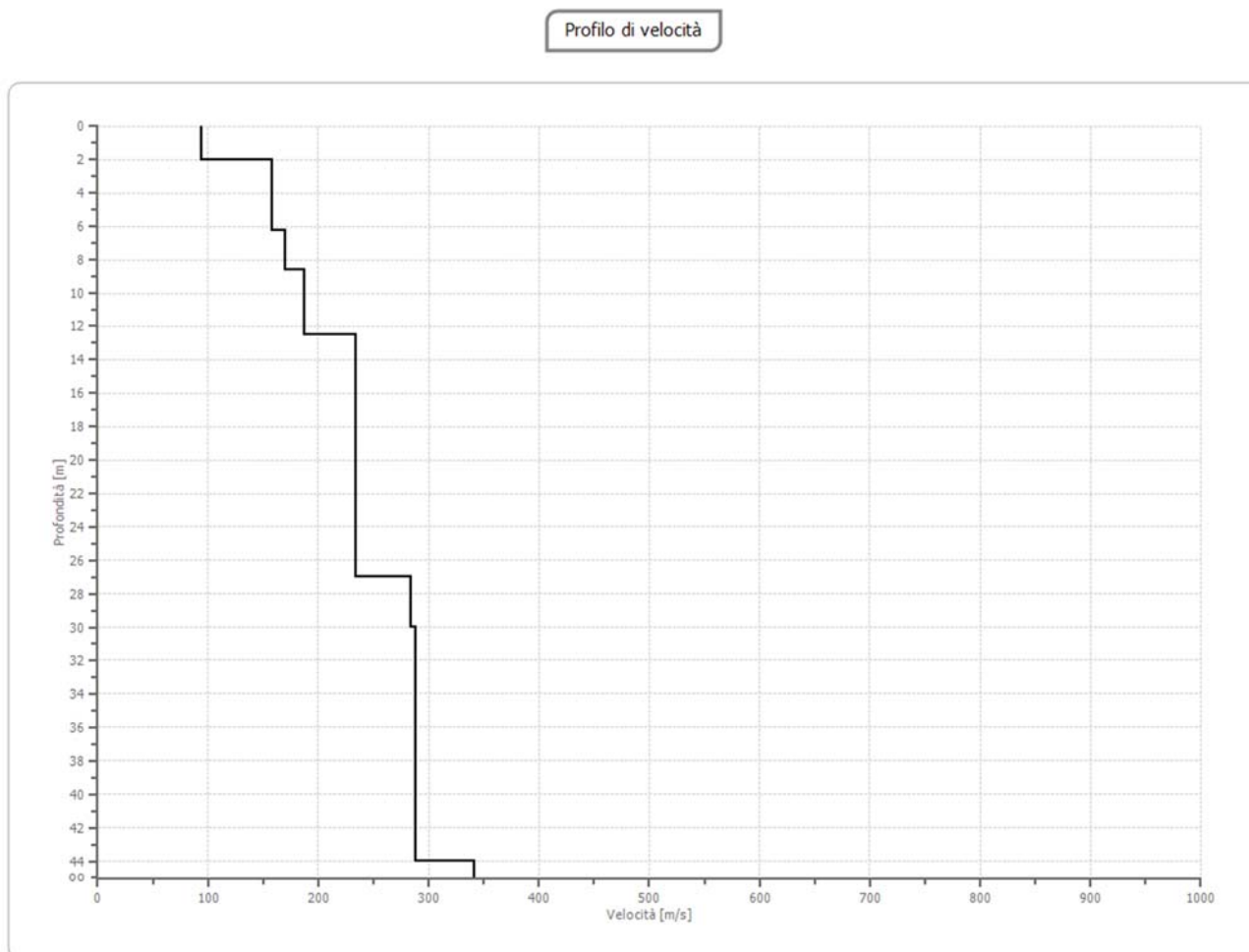


Figura 14: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm ³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.99	1.99	93.34	228.63	1800	0.4	15.68	94.09	73.18	43.91	6	16.52
2	6.19	4.2	157.99	524.01	1860	0.45	46.43	510.72	448.82	134.65	26	232.57
3	8.62	2.42	170.27	417.08	1870	0.4	54.22	325.3	253.01	151.81	21	338.79
4	12.51	3.9	187.13	350.09	1880	0.3	65.83	230.42	142.64	171.17	24	544.41
5	26.95	14.43	233.85	775.59	1890	0.45	103.35	1136.9	999.09	299.73	44	1668.44
6	29.96	3.01	283.62	590.41	1900	0.35	152.84	662.31	458.52	412.67	89	4400.05
7	43.96	14	288.4	600.35	1910	0.35	158.86	688.4	476.58	428.93	73	4785.13
8	∞	∞	341.25	835.88	1930	0.4	224.75	1348.47	1048.81	629.29	0	N/A

6 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008)

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di circa **43,96 m**, dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato, a partire dal p.d.c. attuale pari a **192,97 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **192,95 e 192,99 m/s** come evidenziato nella tabella di seguito allegata:

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	h _i [m]	V _{s,i} [m/s]	h _i / V _{s,i} [s]
1	1.99	1.99	93.34	0.021320
2	6.19	4.20	157.99	0.026584
3	8.62	2.43	170.27	0.014271
4	12.51	3.89	187.13	0.020788
5	26.95	14.44	233.85	0.061749
6	29.96	3.01	283.62	0.010613
7	43.96	0.04	288.40	0.000139

V _{s,30} calcolato	192.97	[m/s]
Errore strumentale	0.011	[%]
V _{s,30} - Max	192.99	[m/s]
V _{s,30} - Min	192.95	[m/s]

In base al valore di V_{s,30}, considerato anche l'errore dell'elaborazione, il suolo di fondazione dell'area in esame può essere considerato di **tipo C**, "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s,30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)".

Sulla base dell'effettiva profondità di posa delle fondazioni si riporta di seguito la classificazione dei terreni in base alla normativa sismica vigente:

Categoria di sottosuolo alla quota di posa delle fondazioni				
Quota di posa delle fondazioni			V _{s,30} - Min	Categoria di Sottosuolo
Fondazioni posate ad una quota di	0.00	ml. da piano campagna	193	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	0.50	ml. da piano campagna	198	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.00	ml. da piano campagna	202	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.50	ml. da piano campagna	207	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.00	ml. da piano campagna	213	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.50	ml. da piano campagna	215	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.00	ml. da piano campagna	217	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.50	ml. da piano campagna	219	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	4.00	ml. da piano campagna	222	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	4.50	ml. da piano campagna	224	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	5.00	ml. da piano campagna	227	TIPO C

Si precisa che sulla base delle caratteristiche litotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, il tecnico incaricato per la stesura della relazione geologica, deve valutare l'eventuale classificazione dei suoli di fondazione come di tipo S1 e/o S2, secondo quanto previsto dalle NTC 2008.

Vignola, 13/07/2016

Dott. Geol. Giorgio Masotti

